

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA**

**BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**FELIPE GALVÃO DE CAMPOS CAMARGO**

**DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DE UMA EXTRUSORA  
DE POLÍMEROS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2017**

**FELIPE GALVÃO DE CAMPOS CAMARGO**

**DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DE UMA EXTRUSORA  
DE POLÍMEROS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/ Campus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos De Carvalho

**PONTA GROSSA**

**2017**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Ponta Grossa

Departamento Acadêmico de Mecânica  
Bacharelado em Engenharia Mecânica



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

por

FELIPE GALVÃO DE CAMPOS CAMARGO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em **06 de Outubro de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. *Marcelo Vasconcelos De Carvalho*  
Prof.(a) Orientador(a)

---

Prof. Dr. *Davi Fusão*  
Membro Titular

---

Prof. Ma. *Heliety Rodrigues Borges Barreto*  
Membro Titular

---

Prof. Dr. *Marcos Eduardo Soares*  
Responsável pelos TCC

---

Prof. Dr. *Marcelo Vasconcelos de Carvalho*  
Coordenador do Curso

-O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar os meus agradecimentos a todos que fizeram parte do desenvolvimento desse trabalho, que dedicaram o seu tempo para que esse projeto se tornasse possível.

Agradeço sobretudo a DEUS que me deu saúde, sabedoria, paciência e perseverança para conseguir concluir este trabalho.

Agradeço aos meus pais *Maria Raquel Galvão Camargo* e *Edson Osório de Campos Camargo* por todo apoio, não somente em relação a esse trabalho, mas pelo apoio em toda a minha jornada durante o curso e por suas palavras de sabedoria nos momentos de dificuldade, sem a dedicação dessas duas pessoas nada disso seria possível.

Agradeço a todos os meus familiares que sempre me apoiaram e me deram conselhos durante essa trajetória e nos momentos de dificuldades.

Agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. *Marcelo Vasconcelos de Carvalho*, por ter acreditado que esse projeto seria possível e por todo suporte dado durante todas as etapas do trabalho.

Agradeço ao *Diego Oliveira* e ao *Evandro Soski* docentes de fabricação mecânica pela colaboração, trabalho em equipe e dedicação junto ao projeto.

Agradeço aos membros da banca examinadora, *Davi Fusão* e *Heliety Rodrigues Borges Barreto*, por se fazerem disponíveis e para a avaliação deste trabalho.

Agradeço a UTFPR e ao corpo docente por todos os anos de aprendizado que me foram proporcionados, a todos os professores, colaboradores e pessoas que fazem parte dessa instituição que me trouxe grande crescimento não somente profissional, mas como pessoal.

## RESUMO

CAMARGO, Felipe Galvão de Campos. **Dimensionamento e fabricação de uma extrusora de polímeros**. 2017. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

Diante do grande aumento do uso da tecnologia das impressoras 3D, faz-se necessário um aumento da produção de polímeros, porém sabemos que esses materiais ainda são pouco reaproveitados. Uma forma interessante de se reaproveitar esses materiais é transformando-os em filamentos para impressoras 3D. Diante desse desafio, esse projeto tem por finalidade a construção de um protótipo de uma extrusora de polímeros, para se produzir filamentos, de forma simples e de baixo custo pois a maioria dos equipamentos disponíveis no mercado são de escala industrial e, portanto, o seu custo ainda é muito elevado. O trabalho apresentou algumas etapas da fabricação de um protótipo realizado com a maioria dos recursos, ferramentas e materiais disponíveis na Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Campus Ponta Grossa. Esse protótipo terá por finalidade um projeto maior, que engloba tanto a produção de filamentos, como a utilização em impressoras 3D e por fim o processamento em um shredder, que são protótipos que estão sendo desenvolvidos por outros alunos.

Palavras-chave: Extrusão de polímeros. Filamentos. Protótipo. Impressoras 3D.

## ABSTRACT

CAMARGO, Felipe Galvão de Campos. **Dimensioning and manufacturing of a polymer extrusion machine.** 2017. 80 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

Faced with the great increase in the technology of 3D printers, it is necessary to increase the production of polymers however it is known that these materials are still little reused. The interesting way to reuse these materials is to turn them into filaments for 3D printers. Faced with this challenge, this project intends to build a prototype of a polymer extruder to produce filaments in a simple and low cost way because the majority of the available equipment found on market are industrial scale and, therefore, its cost is still very high. The following work presents some steps of the manufacturing of a prototype realized with the majority of the resources, tools and available materials from the Universidade Tecnológica Federal do Paraná. The purpose of the prototype is in upcoming work, be improved and get better results.

Keywords: Polymer extrusion. Filaments. Prototype.3D printer.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1- Etapas do processo de sopro .....	23
Figura 2- Processo de termoformagem.....	24
Figura 3- Regiões que compõe uma extrusora .....	25
Figura 4- Componentes de uma extrusora.....	26
Figura 5- Diferentes geometrias de rosca. ....	27
Figura 6- Regiões do estado físico do material.....	28
Figura 7- Rosca composta por dois eixos .....	29
Figura 8- Esboço contendo as partes principais de uma cabeça da extrusora.....	29
Figura 9- Vista em 3D do parafuso .....	37
Figura 10- Desenho técnico do parafuso .....	38
Figura 11- Vista em 3D do tubo .....	43
Figura 12- Desenho técnico do tubo .....	44
Figura 13- Vista em 3D do funil de alimentação .....	49
Figura 14- Desenho técnico do funil de alimentação .....	50
Figura 15- Desenho em 3D da cabeça da extrusora .....	53
Figura 16- Seção de corte da cabeça da extrusora .....	53
Figura 17- Desenho técnico da cabeça da extrusora.....	54
Figura 18- Diagrama elétrico da montagem dos componentes eletrônicos .....	62
Figura 19– Esboço da montagem dos componentes.....	65

**LISTA DE TABELA**

Tabela 1- Comparativo dos requisitos e funcionalidade. ....	34
Tabela 2-Componentes eletrônicos utilizados no projeto .....	61
Tabela 3-Modelos dos componentes eletrônicos utilizados no projeto.....	62

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1- Barra de aço utilizada para a fabricação do parafuso e o protótipo fabricado antes da usinagem do parafuso. ....	40
Fotografia 2- Barra de aço utilizada para fabricação do parafuso presa ao torno .....	40
Fotografia 3- Acabamento do fuso sendo realizado com limas .....	41
Fotografia 4- Acabamento do fuso realizado com a retifica manual .....	42
Fotografia 5- Eixo do parafuso sendo furado .....	42
Fotografia 6- Superfície interna do cilindro antes do acabamento .....	46
Fotografia 7- Cilindro preso ao torno com o auxílio da luneta fixa .....	46
Fotografia 8- Ferramenta fabricada para o acabamento interno do cilindro .....	47
Fotografia 9- Ferramenta de acabamento interno sendo utilizada.....	47
Fotografia 10- Corte do cilindro para a entrada de material.....	48
Fotografia 11- Funil de alimentação montado .....	52
Fotografia 12- Funil de alimentação posicionado em cima do tubo .....	52
Fotografia 13- Conjunto de brocas utilizado para furar o centro da cabeça da extrusora .....	56
Fotografia 14- Peça presa ao torno e a ferramenta utilizada para a abertura do cone..	56
Fotografia 15- Resultado da usinagem do cone na peça.....	57
Fotografia 16- Vira macho e os machos utilizados para realizar a rosca na peça .....	58
Fotografia 17- Processo de realização da rosca na peça .....	58
Fotografia 18- Parafuso M12 preso a furadeira de bancada após a furação.....	59
Fotografia 19- Resultado da abertura do cone no parafuso.....	60
Fotografia 20- Nivelamento do tubo em relação ao motor .....	65
Fotografia 21- Resultado final da usinagem do parafuso.....	66
Fotografia 22- Resultado final do acabamento do parafuso .....	67
Fotografia 23- Resultado final do acabamento interno do cilindro .....	67

Fotografia 24- Soldagem do funil de alimentação no cilindro .....	68
Fotografia 25- Funil e cilindro unidos .....	68
Fotografia 26- Resultado da fabricação da cabeça da extrusora.....	69
Fotografia 27- Resultado da fabricação da cabeça da extrusora.....	69
Fotografia 28- Resultado da fixação da base do motor .....	70
Fotografia 29- Resultado da fixação do motor na bancada .....	70
Fotografia 30- Resultado da montagem da cabeça da extrusora .....	71
Fotografia 31- Luva de acoplamento motor/eixo do parafuso .....	71
Fotografia 32- Luva de acoplamento montada.....	72
Fotografia 33- Protótipo final .....	72
Fotografia 34- Resultado do material extrudado .....	74

**LISTA DE ABREVIACOES**

<i>ABS</i>	Acrilonitrila butadieno estireno
<i>AISI</i>	American Iron and Steel Institute
<i>PDP</i>	Processo e desenvolvimento de produtos
<i>PEBD</i>	Polietileno de Baixa Densidade
<i>PET</i>	Politereftalato de etileno
<i>PVC</i>	Policloreto de vinila
<i>Rev</i>	Revolução
<i>RPM</i>	Rotações por minuto

**LISTA DE SÍMBOLOS**

$\varnothing$	Diâmetro	[mm]
#	Granulação de lixa	[-]
<i>tg</i>	Transição vítrea	[°C]

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	TEMA.....	15
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	16
1.3	PROBLEMAS E PREMISSAS .....	16
1.4	OBJETIVOS.....	17
1.4.1	Objetivo Geral .....	17
1.4.2	Objetivos Específicos.....	17
1.4.3	Justificativa.....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
2.1	CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS.....	19
2.2	RECICLAGEM DE POLÍMEROS.....	19
2.2.1	Reciclagem do PET .....	21
2.3	PROCESSAMENTO DE POLÍMEROS .....	22
2.3.1	Injeção de Plástico.....	22
2.3.2	Sopro .....	23
2.3.3	Termoformagem.....	24
2.3.4	Extrusão de Polímeros.....	25
2.4	COMPONENTES DE UMA EXTRUSORA .....	26
2.4.1	Alimentador .....	26
2.4.2	Cilindro.....	26
2.4.3	Parafuso.....	26
2.4.4	Rosca Duplo-eixo.....	28
2.4.5	Fieira e Cabeça da Extrusora .....	29
2.4.6	Bandas de Aquecimento.....	30
2.5	DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	30
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
3.1	PROJETO INFORMACIONAL.....	32

3.1.1	Pesquisa de Similares .....	32
3.1.2	Transformação de Necessidades em Requisitos do Produto .....	32
3.2	PROJETO CONCEITUAL.....	33
3.2.1	Projeto Conceitual Básico .....	33
3.2.2	Projeto Conceitual Detalhado .....	34
3.2.3	Avaliação do Projeto Conceitual Proposto.....	35
3.3	MATERIAIS E FABRICAÇÃO.....	36
3.3.1	Parafuso.....	37
3.3.2	Cilindro .....	43
3.3.3	Funil de Alimentação .....	49
3.3.4	Cabeça da Extrusora .....	53
3.3.5	Acoplamento Motor-eixo .....	60
3.3.6	Componentes Eletrônicos .....	61
3.4	MONTAGEM DO PROTÓTIPO .....	63
3.4.1	Montagem da Bancada .....	63
3.4.2	Montagem das Peças do Protótipo.....	64
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>66</b>
4.1	RESULTADO DA FABRICAÇÃO E ACABAMENTO DO PARAFUSO.....	66
4.2	RESULTADO DO ACABAMENTO DO CILINDRO.....	67
4.3	RESULTADO DA FABRICAÇÃO DO FUNIL DE ALIMENTAÇÃO .....	68
4.4	RESEULTADO DA FABRICAÇÃO DA CABEÇA DA EXTRUSORA.....	69
4.5	MONTAGEM DO PROTÓTIPO .....	70
4.5.1	Resultado da Montagem da Cabeça da Extrusora no Tubo.....	71
4.6	TESTES DO PROTÓTIPO .....	73
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>77</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

A utilização de materiais poliméricos nos processos de fabricação trouxe grandes benefícios para a sociedade, pela sua versatilidade, leveza e sobretudo pelo preço, o que acabou facilitando muitos processos conhecidos hoje. Por ser um material leve e maleável e de baixa temperatura de trabalho, os polímeros trouxeram grandes vantagens em relação a outros materiais como por exemplo os metais, com isso em muitas aplicações os metais foram substituídos por materiais poliméricos.

Com o crescente uso desse material diversas tecnologias de fabricação foram desenvolvidas visando o aprimoramento e diminuição de custos em relação ao uso dessa matéria-prima. O processamento desses materiais é feito através da: extrusão, injeção, sopro, laminação e termoformagem (KANTOVISCKI, 2011).

Apesar de ser um material amplamente utilizado na sociedade, a sua reciclagem ainda é limitada pois o custo para se reaproveitar esse material é muito alto em relação a se produzir com um material “novo” e pela diversidade de tipos de polímeros esse processo se torna mais difícil pois envolvem muitas variáveis. E isso pode se tornar um problema muito grande para a sociedade pois como o processo de reciclagem muitas vezes acaba sendo inviável este material acaba sendo descartado em locais impróprios, podendo causar danos ambientais grandes. Esses resíduos, em geral, levam muito tempo para sofrerem degradação espontânea e, quando queimados, produzem gases tóxicos (MANO, BONELLI, 1994; ZANIN, MANCINI, 2004).

Um dos maiores desafios da sociedade atual vem sendo a preservação e cuidado com o meio ambiente, diante disso os processos de fabricação estão ficando cada vez mais sustentáveis pois há uma preocupação muito grande com a utilização correta e o aproveitamento de recursos. Fato é, que hoje a tecnologia que vem mais ganhando força no mercado são as impressoras 3D que permitem fabricar diversos formatos, com uma precisão razoável e utilizando os recursos de maneira inteligente.

Com o objetivo de reduzir o acúmulo dos resíduos sólidos, muitos pesquisadores vêm desenvolvendo processos de descarte, reutilização e reciclagem, porém, a maioria ainda é, de modo geral, paliativos. (BENTES,2008).

Diante do problema apresentado, se faz necessário o reaproveitamento desses materiais poliméricos de forma mais viável. Uma das formas econômicas encontradas são as extrusoras porém o custo para se obter uma ainda é elevado e a maioria das empresas que as possuem fazem seu uso quase exclusivamente para a produção e não para a reciclagem (SPINACÉ; PAOLI, 2004).

Esse trabalho tem como objetivo construir uma extrusora de polímeros de forma econômica e viável para reaproveitar materiais poliméricos para a obtenção de filamentos.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Esse trabalho busca a construção de uma extrusora de polímeros tendo como objeto de estudo as seguintes peças: O fuso, o tubo e o funil de alimentação tendo como referência algumas máquinas já existentes.

## 1.3 PROBLEMAS E PREMISAS

Os principais problemas que motivaram a realização desse projeto foram:

- O grande custo de se adquirir uma extrusora de polímeros;
- As dificuldades de reciclagem de materiais poliméricos;
- A necessidade de uma pesquisa sobre filamentos poliméricos obtidos através de materiais reciclados;

Portanto, o recurso para se adquirir uma extrusora acaba dificultando a reciclagem do mesmo pois torna o investimento inviável, pois para se obter o polímero já processado se torna mais barato do que reciclar.

Diante da problemática levantada, acredita-se que a fabricação de um equipamento de menor investimento poderá ser uma boa forma de tornar o

procedimento de reciclagem dos materiais poliméricos mais barata e será objeto de estudo para outros futuros projetos dentro da universidade. Além de dar um destino adequado aos materiais que são descartados em locais impróprios, prejudicando assim o meio ambiente e a sociedade.

A necessidade de uma pesquisa sobre a obtenção de filamentos poliméricos será de fundamental importância para futuros estudos, em vista que acredita-se que esta seria uma forma interessante de se obter filamentos de polímeros para alimentar impressoras 3D.

## 1.4 OBJETIVOS

Esse tópico é dedicado aos objetivos gerais e específicos do projeto.

### 1.4.1 Objetivo Geral

Construir peças de um protótipo de uma extrusora de polímeros com os materiais e recursos da universidade.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Fabricar um fuso que seja capaz de transportar o material polimérico de modo a obter bons resultados;
- Fabricar uma cabeça da extrusora utilizando os equipamentos da universidade;
- Fabricar uma ferramenta para o acabamento interno do tubo;
- Fabricar uma ferramenta para o acabamento do fuso.

### 1.4.3 Justificativa

A importância do projeto está na obtenção de um equipamento que tem um custo muito elevado se for adquirido através de um fabricante e que terá um custo baixo pois será produzido dentro da universidade com os recursos da mesma, e nas aplicações que os filamentos de polímeros obtidos através da extrusora terão. Esse projeto faz parte de um conjunto de outros projetos que estão sendo desenvolvidos na

universidade como a fabricação de impressoras 3D e de um shredder que será utilizado para triturar embalagens de polímeros para processá-las na extrusora, fabricando filamentos que serão utilizados nas impressoras 3D.

Outra grande importância do projeto está na fomentação da pesquisa na universidade, visto que este projeto pode ser o início de vários outros, pois existem diversas aplicações para os filamentos obtidos com esta extrusora e diversos materiais que poderão ser utilizados, além de diversos parâmetros que poderão ser modificados no equipamento para o aprimoramento do mesmo, buscando sempre uma otimização do processo. Além de tudo, este equipamento poderá ser utilizado por professores para aulas em laboratório para apresentação de conteúdos como processamento de polímeros.

O PET (Politereftalato de etileno) foi o polímero escolhido para o projeto por ser um polímero que é um dos mais reaproveitados e por não haver muitas pesquisas na área sobre esse polímero, como o tipo adequado de fuso para esse polímero.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão apresentadas algumas considerações sobre os polímeros, sobre a sua reciclagem, processamento de polímeros e componentes de uma extrusora e sobre PDP (Processo e desenvolvimento de produtos).

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS

O primeiro tipo de classificação que se destaca como uma das principais é em relação a origem do polímero, pois dividem os polímeros em dois grandes grupos naturais ou sintéticos. Os polímeros naturais são os que são encontrados em forma natural no meio ambiente, já os sintéticos são obtidos por meio de processos químicos (MENDES,2004).

Outro tipo de classificação de polímeros que é bem comum é a classificação que leva em consideração a fusibilidade e ou/ solubilidade do polímero, podendo ser classificado em termorrígidos e termoplásticos. Onde os polímeros classificados como termoplásticos são aqueles que se fundem por aquecimento e solidificam por resfriamento podendo ser reutilizados, são plásticos mais maleáveis que os termorrígidos. Já os termorrígidos após aquecimento ou resfriamento não conseguem voltar a forma original, dessa forma os termorrígidos possuem propriedades de rigidez.

Em relação ao número de monômeros presentes na cadeia podemos classificar os polímeros em homopolímeros e copolímeros. Homopolímero é aquele que possui pequena quantidade de comonômero, valor abaixo de 5% e os copolímeros são os que possuem comonômeros acima de 5% (MENDES,2004).

### 2.2 RECICLAGEM DE POLÍMEROS

A reciclagem é importante para reaproveitar uma parcela da matéria e da energia que se tornaria lixo (GRIMBERG, BLAUTH, 1998) ou seja, uma forma de minimizar as perdas de recursos já utilizados.

Diante dos grandes problemas ambientais relacionados a poluição, a reciclagem de materiais se torna cada dia mais importante. O crescente aumento do uso de embalagens plásticas, principalmente por indústrias, traz como problema a dificuldade da reciclagem desse material, pois embalagens poliméricas possuem uma degradação espontânea muito lenta (TOBERGTE, 2013).

Uma maneira de tentar minimizar o impacto dos polímeros no meio ambiente é a reciclagem do mesmo. Além dos benefícios ambientais que a reciclagem traz, pode trazer também benefícios econômicos para as empresas, pois gera a economia em materiais e em processamento.

Em relação aos benefícios, outro aspecto que é importante destacar é no marketing e nos aspectos competitivos que a reciclagem proporciona, diante de um mercado consumidor que a cada dia mais procura por produtos com embalagens sustentáveis (SHIBAO; MOORI; SANTOS, 2010).

Devido a estrutura e as propriedades dos polímeros, somente os polímeros classificados como termoplásticos que podem ser reciclados, isso está relacionado principalmente a fusibilidade desse tipo de polímero, uma vez que ao tentar reciclar polímeros termorrígidos ao invés da fusão temos a queima do mesmo (MANO, 1994).

Existem diversos métodos para reciclagem de polímeros como: mecânica, química, na forma de blendas poliméricas entre outras, sendo o mais comum a reciclagem mecânica que consiste nos seguintes processos (TOBERGTE,2013):

- Separação
- Moagem
- Lavagem
- Secagem
- Aglutinação
- Extrusão
- Granulação
- Transformação do polímero em produto acabado

### 2.2.1 Reciclagem do PET

O PET (Polietileno Tereftalato) é um dos polímeros mais conhecidos, devido ao seu uso em muitas embalagens, principalmente nas de refrigerantes. Esse polímero também se tornou o principal símbolo da reciclagem de polímeros devido ao nível de reaproveitamento (TOBERGTE,2013) podendo ser reutilizado em diversas funções como roupas, brinquedos, utensílios domésticos, como fonte de energia etc.

O tipo de reciclagem empregado no PET pode variar muito dependendo da aplicação a qual ele será empregado após a reciclagem, pois em alguns processos como o de reciclagem mecânica ocorrem perdas de propriedades significativas.

Para aplicações mais simples em que não é tão importante manter as propriedades físicas, como artesanatos, pode ser empregado o uso da reciclagem mecânica devido a qualidade final do produto reciclado (EHRIG, 1992).

O PET pode ser reaproveitado para a produção de energia que consiste em realizar o aquecimento das embalagens do PET em fornos para fornecer calor para aplicações industriais (TOBERGTE,2013).

Para aplicações mais rigorosas como reutilização do PET em garrafas plásticas, o processo de reciclagem mais empregado é o de produção de blendas poliméricas, que consiste em acrescentar aditivos e até mesmo outros polímeros para melhorar as propriedades do produto reciclado deixando-o com propriedades semelhantes ao do PET-virgem (ABIPET, 2005).

## 2.3 PROCESSAMENTO DE POLÍMEROS

Esse capítulo é dedicado aos processos mais comuns envolvendo processos de fabricação que utilizam os materiais poliméricos como matéria-prima e quais são suas principais características.

### 2.3.1 Injeção de Plástico

Sendo um dos mais comuns processos de fabricação utilizando materiais poliméricos a injeção de plástico se destaca por ser um processo de alta produtividade, as peças produzidas possuem bom acabamento, porém essa técnica possui como grande desvantagem a limitação na geometria das peças pois só é possível fabricar diferentes peças com diferentes moldes, tornando o processo limitado e outra desvantagem do processo é o descarte de material que sobra da peça injetada.

Costuma-se separar esse processo em quatro etapas: preenchimento do molde, compactação e recalque, resfriamento e abertura do molde e extração da peça.

As máquinas injetoras são compostas de uma câmara cilíndrica, aquecida, passando dentro dessa câmara há um parafuso de extrusão, que funciona como plastificador e homogeneizador do material polimérico antes que o material saia através do molde (MENDES,2004). Após a massa polimérica ser injetada no molde, inicia-se o processo de resfriamento do conjunto, ocorrendo a solidificação da peça no interior do molde.

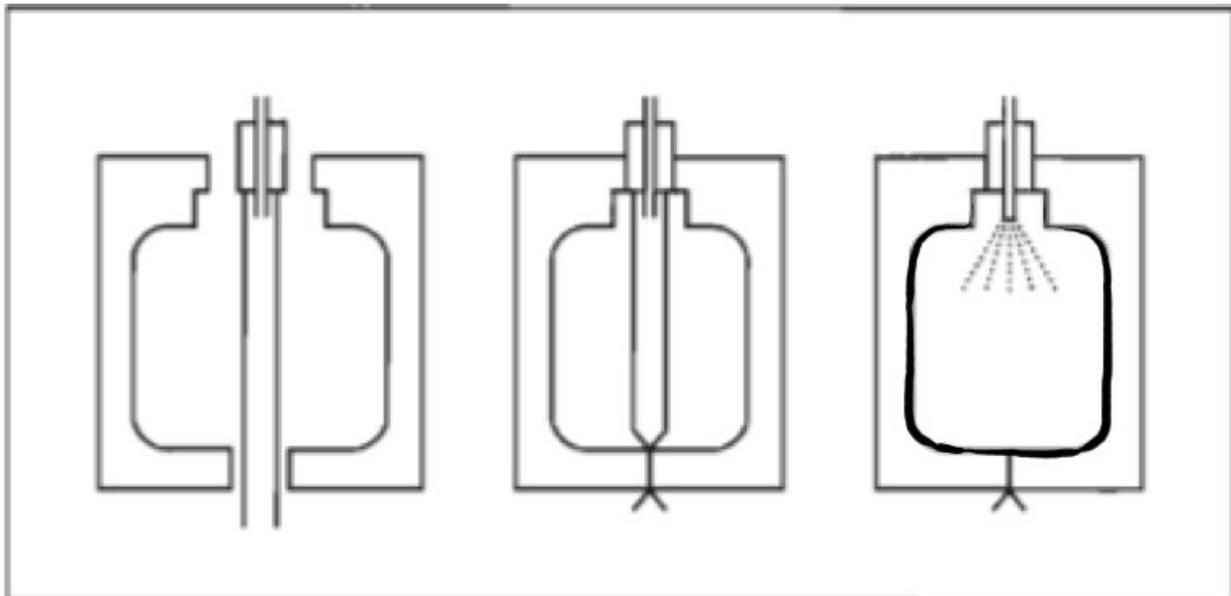
Esse processo é recomendado para peças de pequenas dimensões, como brinquedos, utensílios domésticos, componentes de computadores.

### 2.3.2 Sopros

O processo através do sopro se caracteriza por fabricar peças “ocas”, geralmente é utilizado na produção de garrafas, bombas e brinquedos.

Este é um dos processos mais complexos quando estamos falando de processos de fabricação utilizando polímeros. Trata-se de um processo descontínuo onde o ar é insuflado no interior de uma pré-forma que está inserida dentro do molde, como mostra a figura 2. Existem dois tipos de pré-formas, as com núcleo injetado e as com núcleo extrudado.

**Figura 1- Etapas do processo de sopro**



**Fonte: Mendes (2004)**

Núcleo injetado: trata-se de uma pré-forma obtida através do processo de injeção e apresenta bom controle de espessura de parede, não produz rebarbas mas tem como principal desvantagem a necessidade de dois moldes (um para a injeção e o outro para o sopro) para a fabricação das peças. Mais utilizados em peças que exigem uma resistência maior (ALVES, 2013). Ex: garrafas e frascos que exigem maior resistência mecânica, como tubo de ensaio plástico.

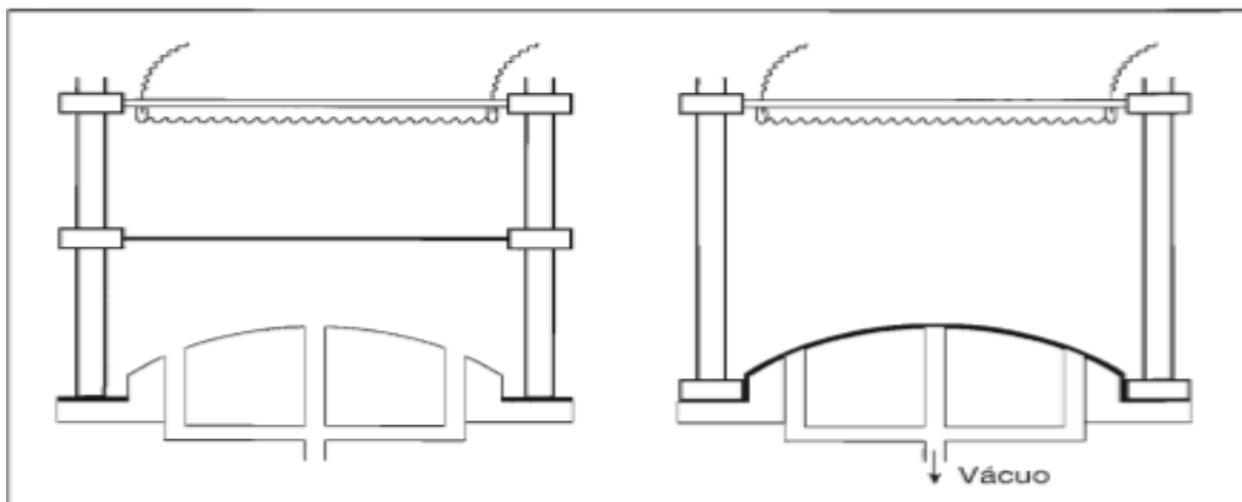
Núcleo extrudado: as pré-formas são obtidas através da extrusão e são os mais comuns pelas altas velocidades de produção e maior versatilidade, porém

apresentam rebarbas durante a modelagem e é um processo difícil de controlar a espessura, sendo recomendado para peças de baixa resistência mecânica. Ex: Garrafas plásticas, frascos, brinquedos)

### 2.3.3 Termoformagem

A termoformagem é um processo que apresenta diversas variações, moldagem a vácuo, moldagem forçada, moldagem a pressão, moldagem com balão. Porém o seu princípio é o mesmo em todas essas variações que consiste em aquecer folhas ou placas de polímeros, empregando resistências, até que o material fique mole o suficiente para tomar a forma dos moldes (macho ou fêmea) onde entre a placa e o molde existem saídas de ar para que possa ser aplicado o vácuo, conforme ilustra a figura 3, para que a placa tome a forma desejada.

**Figura 2- Processo de termoformagem**



Fonte: Mendes (2004)

Este processo é amplamente utilizado para a fabricação de peças de grande escala como painéis, tampas, peças automotivas, peças de eletrodomésticos. Os materiais mais recomendados são aqueles que possuem boa maleabilidade como o poliestireno e o ABS.

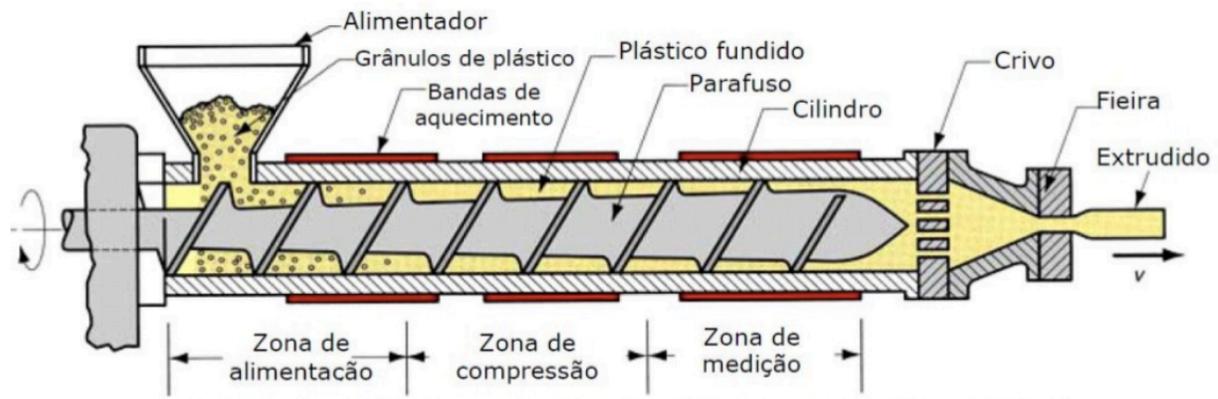
### 2.3.4 Extrusão de Polímeros

A extrusão é um processo de fabricação mecânica que consiste em passar materiais poliméricos de forma contínua e de maneira forçada através de uma matriz adquirindo assim a forma da matriz pré-estabelecida.

As peças obtidas por esse processo são geralmente de seção constante devido a geometria da máquina extrusora.

A extrusora geralmente é composta pelas seguintes regiões: região de alimentação, compressão e dosagem, como apresentado na figura 1.

**Figura 3- Regiões que compõe uma extrusora**



Fonte: Junior (2014)

Na zona de alimentação, o material entra no estado sólido e esta região é a responsável pelo pré-aquecimento do material (próximo ao seu ponto de fusão) e pelo transporte para a fase de compressão do material, nessa fase temos o parafuso com roscas profundas e contínuas (VIGNOL,2005).

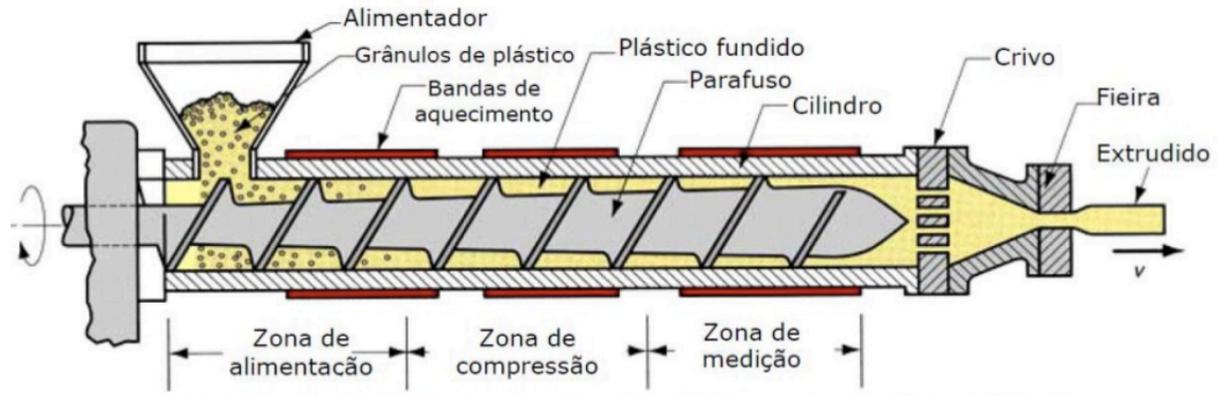
A zona de compressão é a responsável pela plastificação do material e nela temos a diminuição da altura das roscas do parafuso uniformemente promovendo assim a compressão do material contra a parede do cilindro.

A zona de medição apresenta altura de rosca contínua e é responsável por tornar a mistura plástica homogênea.

## 2.4 COMPONENTES DE UMA EXTRUSORA

A figura 4 apresenta os componentes de uma extrusora de polímeros, contendo: Alimentador, cilindro, parafuso, fieira e bandas de aquecimento.

**Figura 4- Componentes de uma extrusora.**



Fonte: Junior (2014)

### 2.4.1 Alimentador

A zona de alimentação é onde se inicia o processo, ele recebe o material polimérico em estado sólido, geralmente moído ou granulado e também tem a função de dosar a quantidade de material que irá entrar na zona de alimentação.

### 2.4.2 Cilindro

Tendo como função de ser uma superfície que irá auxiliar na fricção do material polimérico, o cilindro é uma das peças chave no processo pois a escolha de seu material e a qualidade de superfície interna irá determinar se terá uma boa compressão ou não. Além disso, o material do cilindro deve ter boa resistência térmica pois será nele que serão acopladas as bandas de aquecimento.

### 2.4.3 Parafuso

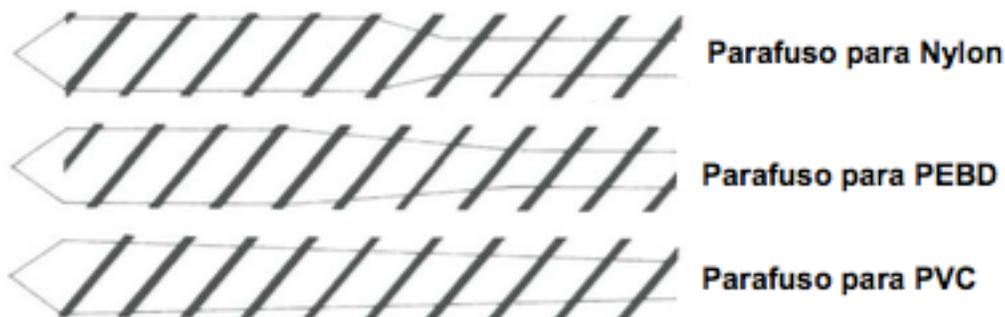
Peça de fundamental importância no processo de extrusão, o parafuso tem a função de transportar o material e também de determinar onde se inicia cada etapa do

processo. As diferentes geometrias da rosca, diferentes tamanhos de seção é o que irá determinar onde ocorrem a fusão, homogeneização e plastificação do material.

A geometria da rosca deve ser escolhida de acordo com o material que se planeja trabalhar, como mostra a figura 5, temos diferentes seções para processar materiais distintos, tudo isso levando em conta as propriedades de plastificação de cada um.

Outro aspecto levado em consideração no projeto do parafuso é a chamada taxa de compressão, a taxa de compressão é a razão entre a altura do canal de alimentação pela altura do canal de dosagem (VIGNOL, 2005). Portanto, para cada material existe uma taxa de compressão ideal e isso irá ajudar a definir a geometria do parafuso.

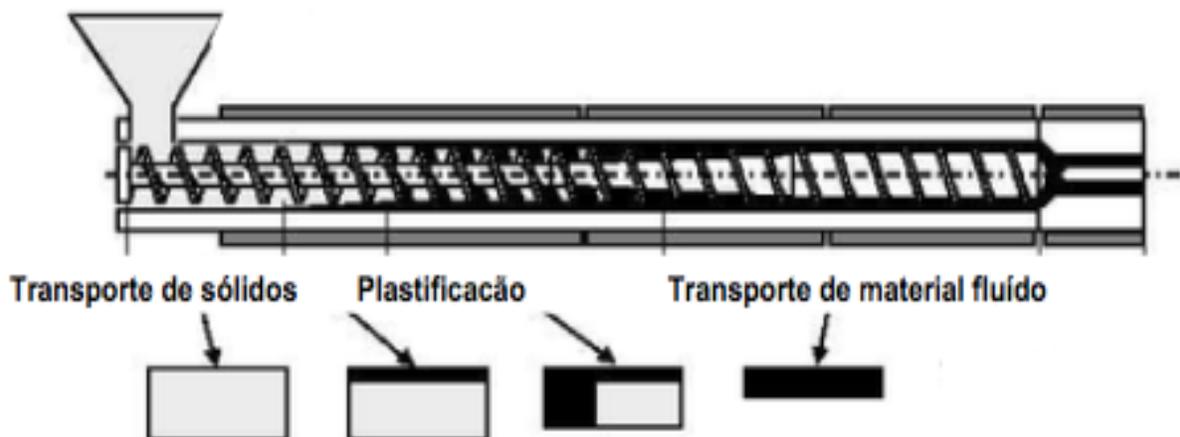
**Figura 5- Diferentes geometrias de rosca.**



**Fonte: Morton-Jones (1989).**

Não somente a geometria deve ser levada em consideração na escolha adequada da rosca, mas também o comprimento das seções pois nesse quesito é levado em consideração o ponto de fusão de cada material. A figura 6 representa algumas etapas de estado físico do material.

Figura 6- Regiões do estado físico do material



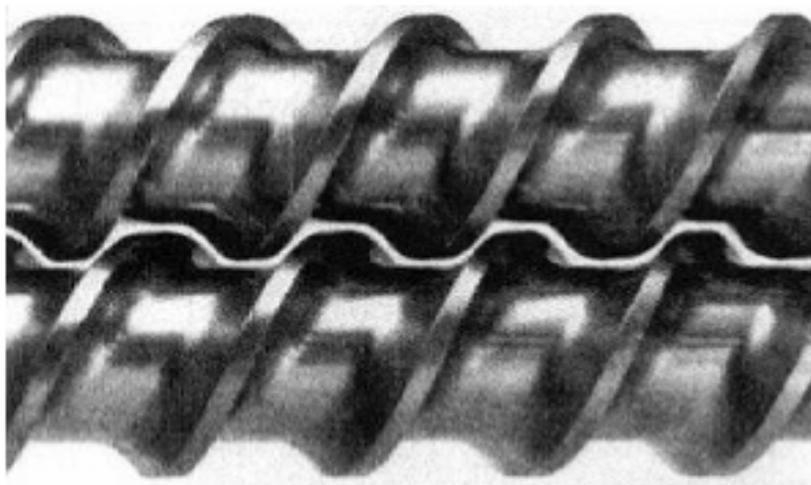
Fonte: Cunha (2004)

Um ponto que deve ser claro em relação ao parafuso é a geometria do seu eixo onde encontra-se as seguintes etapas: Alimentação, compressão e dosagem do material, enquanto o comprimento de cada parte diz respeito a: Transporte do material sólido, plastificação e transporte do material fluido, como foi representado na figura 6.

#### 2.4.4 Rosca Duplo-eixo

Outro modelo bem comum de extrusora, são as de rosca dupla compostas por dois parafusos podendo girar em concordância ou oposição. Esse tipo de extrusora apresenta como principal vantagem em relação às de rosca simples o fato de ter a capacidade de misturar materiais, sejam eles dois polímeros ou polímeros com outros aditivos, com maior eficiência, portanto são extrusoras recomendadas para blends ou compósitos poliméricos. A figura 7 representa um modelo de rosca dupla.

Figura 7- Rosca composta por dois eixos

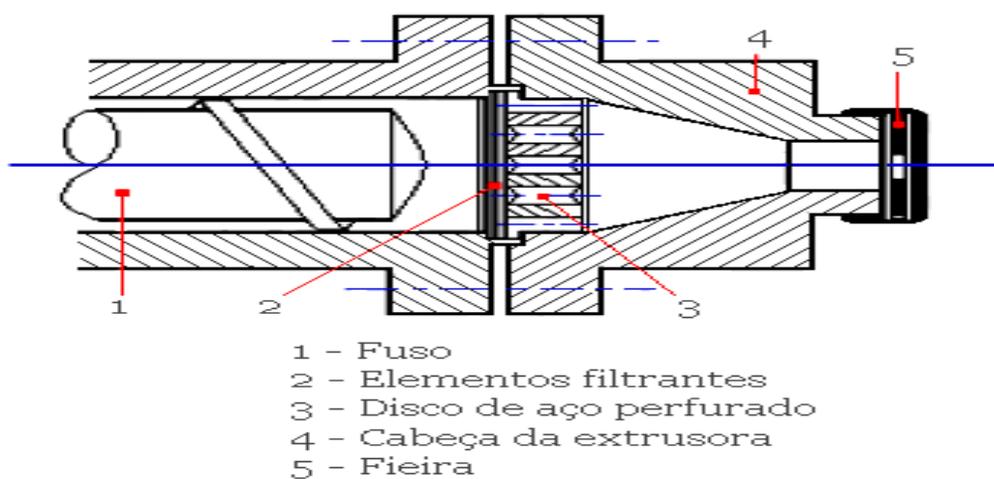


Fonte: Britto (2015)

#### 2.4.5 Fieira e Cabeça da Extrusora

A fieira é a responsável por dar forma ao material extrudado, e esta está acoplada a cabeça da extrusora que tem função de manter a pressão e assegurar o fluxo do mesmo através da fieira para obter um filamento contínuo. A figura 8 apresenta o conjunto da matriz e os elementos responsáveis pela compressão do material contra a fieira.

Figura 8- Esboço contendo as partes principais de uma cabeça da extrusora



Fonte: CAETANO (2014)

#### 2.4.6 Bandas de Aquecimento

Apesar de grande parte da energia que funde o material polimérico ser provida pela movimentação do parafuso e consequente cisalhamento da rosca, uma parte da energia deve ser fornecida de forma externa, através de vapor, óleos e o mais comumente utilizado que são resistências elétricas.

Conhecidas como bandas de aquecimento, os resistores elétricos são componentes que transmitem calor para o sistema. Essas bandas de aquecimento são dispostas sobre a superfície, como já foi mostrado na figura 4 e as temperaturas de cada banda são minuciosamente controladas através de termopares. O controle dessas temperaturas faz com que ocorra a mudança de estado do material de forma gradativa.

### 2.5 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O desenvolvimento de novos produtos é considerado de extrema importância dentro das grandes companhias pois é uma forma interessante de atingir novos clientes, melhorar o seu portfolio de produtos, diversificar produtos e principalmente obter vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes. (AMARAL, 2006).

As principais características do PDP (Processo e desenvolvimento de produtos) são que as principais decisões são tomadas nas etapas iniciais do projeto, a busca pelo maior número de informações antes da execução e as etapas dessa metodologia acabam envolvendo um grande número de pessoas dentro das empresas, gerando maior integração nas tomadas de decisões.

Existem diversos tipos de projetos, desde aqueles que envolvem mudanças significativas em relação aos modelos anteriores, passando pelos que propõem uma mudança de paradigmas em relação a como um produto é utilizado e também projetos que são derivados de produtos já existentes (RABECHINI JUNIOR; CARVALHO; LAURINDO, 2002). Para a execução do PDP é de fundamental importância saber em qual tipo de projeto o produto que deseja desenvolver está englobado, essa é uma das

etapas iniciais do projeto. As etapas do PDP são formadas por projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

**Projeto informacional** - Essa etapa do projeto se propõe a um levantamento de informações necessárias afim de transformar essas informações em requisitos para o protótipo. A ideia dessa etapa do projeto é analisar a real necessidade à atender-se de forma que isso vire características em nosso produto (SILVA; COUTINHO, 2014).

**Projeto conceitual** - Nessa etapa, será detalhado cada componente do protótipo e como será fabricado, porém com um detalhamento maior e levando-se em consideração a disponibilidade de equipamentos, ferramentas e recursos disponíveis para a execução desse projeto (CAETANO, 2010).

**Projeto preliminar** - viabilizar ou visualizar o projeto em caráter mais técnico antes mesmo de entrar na parte da execução. Essa etapa é importante pois dará suporte na próxima etapa e aqui serão definidos os equipamentos a serem utilizados, os processos de fabricação, os materiais e nessa etapa é possível a realização de croquis, desenhos técnicos e desenhos em 3D (FILIPAK et al., 2009).

**Projeto detalhado** – engloba toda a parte técnica do projeto, detalhando as informações de sistemas, subsistemas, recursos a serem utilizados, fabricação, montagem, lista de fornecedores, avaliações e testes dos protótipos, validação dos testes. O resultado dessa etapa é uma versão de um protótipo do produto, após vários testes e mudanças terem sido realizados (ROZENFELD,2006).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo apresenta a metodologia, processo e desenvolvimento de produto sendo aplicada, com as etapas de projeto informacional, projeto conceitual e não irá englobar as etapas de projeto preliminar e detalhado, pois o estudo tem como o objetivo a fabricação de um protótipo.

#### 3.1 PROJETO INFORMACIONAL

Foi realizado um levantamento das informações a respeito dos requisitos que eram considerados importantes. Para isso utilizou-se as seguintes metodologias: Pesquisa de similares e transformação de necessidades em requisitos do produto

##### 3.1.1 Pesquisa de Similares

A etapa de pesquisa de similares irá dar suporte para elaborar um protótipo, pois é uma ferramenta muito interessante para se buscar novas soluções para um determinado produto (MARQUES, 2008).

Em uma busca por produtos já existentes no mercado, encontrou-se diversas formas e modelos de extrusoras, porém a maioria deles são de escala industrial. Existem diversos modelos considerados “caseiros” pois são realizados com equipamentos menos sofisticados e tecnologias consideradas mais simples. Esses modelos por serem mais próximos a realidade do projeto serão de fundamental importância no levantamento de informações necessárias para a execução do projeto.

##### 3.1.2 Transformação de Necessidades em Requisitos do Produto

Para a execução dessa etapa foram levantadas as principais necessidades que o protótipo deveria atender. Após conversas com o professor orientador e com os outros membros da equipe, foi definido que para o protótipo as principais necessidades que deveriam ser atendidas eram: custo baixo e simplicidade.

Essas duas necessidades foram levantadas pois como a universidade muitas vezes não dispõe dos recursos financeiros para a compra de materiais e equipamentos de elevado custo, a fabricação do protótipo feita com os próprios recursos é uma forma interessante para se obter um equipamento que irá agregar também para o aprendizado dos alunos. E a praticidade no manuseio pois dessa forma torna o protótipo menos complexo, gerando menor manutenção e também custo baixo.

Transformando essas necessidades em requisitos foram propostas algumas alternativas. Para obter um custo baixo seria necessário utilizar os materiais, ferramentas e recursos presentes no próprio laboratório da UTFPR-PG. Para obter a praticidade no manuseio é necessário que o modelo da extrusora seja simples, com poucos comandos e poucas variáveis para se alterar durante o processo.

### 3.2 PROJETO CONCEITUAL

O projeto conceitual serve para dar forma e funções as necessidades e requisitos já levantados durante a etapa do projeto informacional. Basicamente, essa etapa serve para confirmar que entre todas as soluções levantadas foi escolhida a que é a mais adequada para suprir as necessidades e requisitos (IAROSINSKI NETO; FAVARETTO, 2005).

Nessa etapa será necessária a construção do modelo funcional do protótipo, onde será apresentado as principais funções e será feito um comparativo dessas funções do equipamento com os requisitos levantados (SILVA; BINI, 2015).

#### 3.2.1 Projeto Conceitual Básico

O projeto conceitual básico consiste em um protótipo de uma extrusora de polímeros com a finalidade de reciclagem de PET, onde esse material será transformado em filamentos através da passagem do mesmo em canais de um fuso sendo aquecido através de resistores elétricos.

Definido a funcionalidade do protótipo é necessário um comparativo entre as funções do equipamento com os requisitos levantados e os modelos disponíveis.

A tabela a seguir mostra um comparativo dos possíveis modelos de rosca com os requisitos que foram definidos no início do protótipo.

Tabela 1- Comparativo dos requisitos e funcionalidade.

Requisitos	Rosca simples	Rosca dupla	Eixo duplo
Baixo custo	Atende	Não atende	Não atende
Simplicidade	Atende	Não atende	Não atende

Fonte: Autoria própria

Uma vez definido o tipo de rosca que será utilizado, torna-se necessário um levantamento de como esse fuso será obtido. Conforme algumas pesquisas em relação ao custo de um fuso, foi definido que o fuso será fabricado com os recursos e materiais da UTFPR-PG.

### 3.2.2 Projeto Conceitual Detalhado

A etapa a seguir apresenta os detalhes a respeito de como foram selecionados os parâmetros para a produção desse protótipo, detalhes como o modelo da rosca do parafuso, o cilindro escolhido, o tamanho do parafuso, profundidade do canal, resistências elétricas e motor elétrico.

**Parafuso** - Conforme decidido na etapa anterior, o modelo de rosca mais adequado para atender as necessidades é o de rosca simples e será utilizado apenas um eixo e o mesmo será fabricado no próprio laboratório. Diante dessas informações, outros fatores são importantes a serem considerados. Como o fuso será fabricado em um torno mecânico da própria universidade, surge uma limitação no avanço da ferramenta de 7mm/rev que é o máximo que o equipamento consegue obter.

Pela disponibilidade de material no laboratório, optou-se por fazer o fuso em aço AISI 1045, pois era o que apresentava melhores propriedades térmicas.

**Cilindro** - Para a escolha do cilindro, verificamos a disponibilidade de tubos no laboratório de usinagem da UTFPR-PG e escolhemos um tubo de  $\varnothing 50,8 \times 500$ mm, pois apresentava boas condições superficiais.

**Tamanho do fuso** - Conforme vimos anteriormente o torno possui uma limitação em relação a seu avanço sendo ele 7mm/rev, dessa forma os canais serão pequenos e por isso optou-se por um fuso de tamanho grande para que ocorra a fusão do material da maneira mais uniforme possível. Conforme citado anteriormente o comprimento do cilindro é de 500mm, dessa maneira um comprimento interessante para o fuso é de 490mm.

**Profundidade do canal** - para a fabricação do fuso tem-se algumas opções de ferramentas de corte, como: Pastilha de aço rápido, bedame e bits. A profundidade dos canais ficará limitada a ferramenta que será utilizada no processo de usinagem, dessa forma serão realizados testes com as três ferramentas para comparar suas qualidades na usinagem e durabilidade para se determinar a mais adequada para a fabricação.

**Resistores elétricos** - Sendo esse o equipamento mais complexo e difícil de se fabricar, esse será o único componente que será comprado para o projeto e será composto por três resistências igualmente distribuídas, um controlador PID de temperatura e um relé SSD fotek.

**Acionamento** - O motor a ser utilizado foi um motor Eberle com uma caixa de redução que foi escolhido pois estava em boas condições e disponível no laboratório da UTFPR-PG. Um dos pontos importantes a respeito dessa caixa de redução é que a mesma está sendo reaproveitada pois estava sem nenhum uso.

### 3.2.3 Avaliação do Projeto Conceitual Proposto

O modelo conceitual proposto está de acordo com as necessidades estabelecidas anteriormente e atende também o modelo funcional descrito anteriormente. Sendo assim, o modelo foi fabricado conforme descrito nas etapas anteriores. A avaliação é positiva pois está dentro das duas necessidades pré-estabelecidas no projeto que eram, custo baixo e simplicidade.

### 3.3 MATERIAIS E FABRICAÇÃO

Aqui apresenta-se alguns parâmetros importantes para a fabricação do parafuso, incluindo os desenhos, materiais, equipamentos e processos de fabricação.

A construção dos componentes foi toda realizada nos laboratórios do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Ponta Grossa-PR.

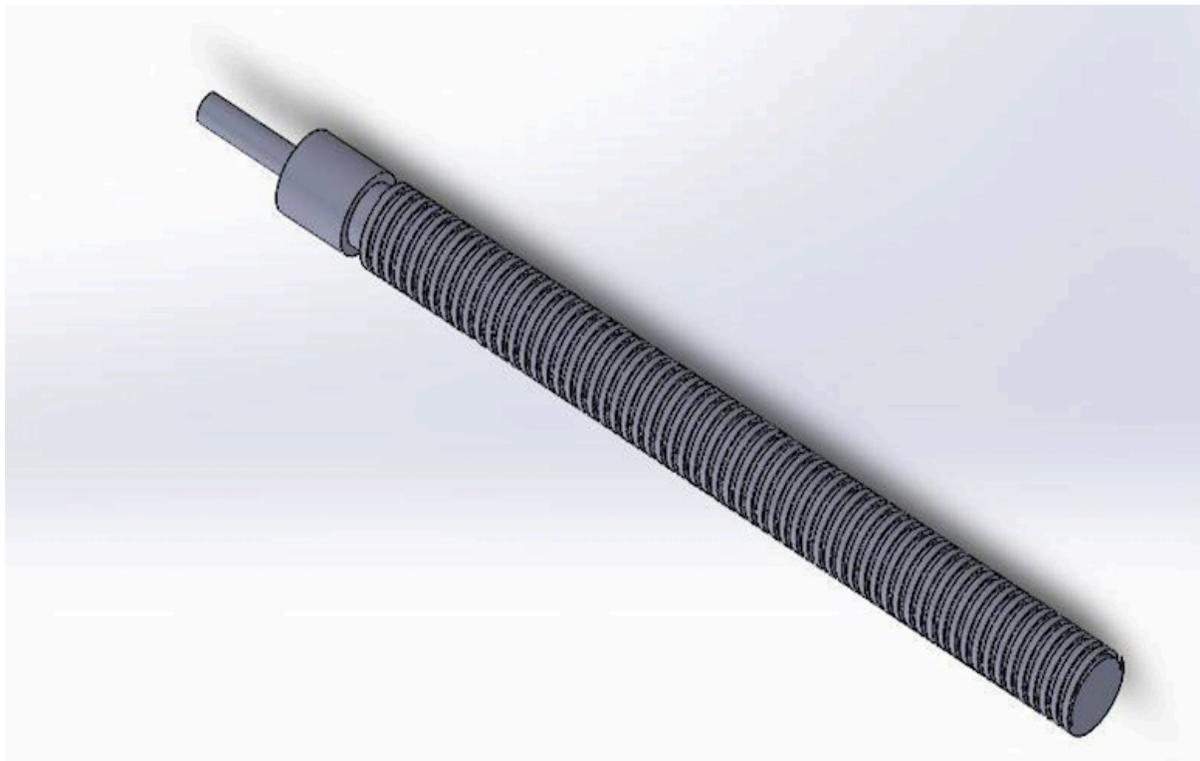
A fabricação do parafuso foi realizada como trabalho de conclusão do curso do aluno Diego Oliveira do curso de Fabricação Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e para maiores detalhes sobre os parâmetros de usinagem, ferramentas poderá ser consultado em seu trabalho.

O acabamento da superfície interna do cilindro, assim como o acabamento do fuso, foram parte do trabalho de conclusão do curso do aluno Evandro Soski do curso de Fabricação Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e para maiores informações sobre parâmetros de usinagem, ferramentas e velocidades utilizadas poderá ser consultado em seu trabalho.

### 3.3.1 Parafuso

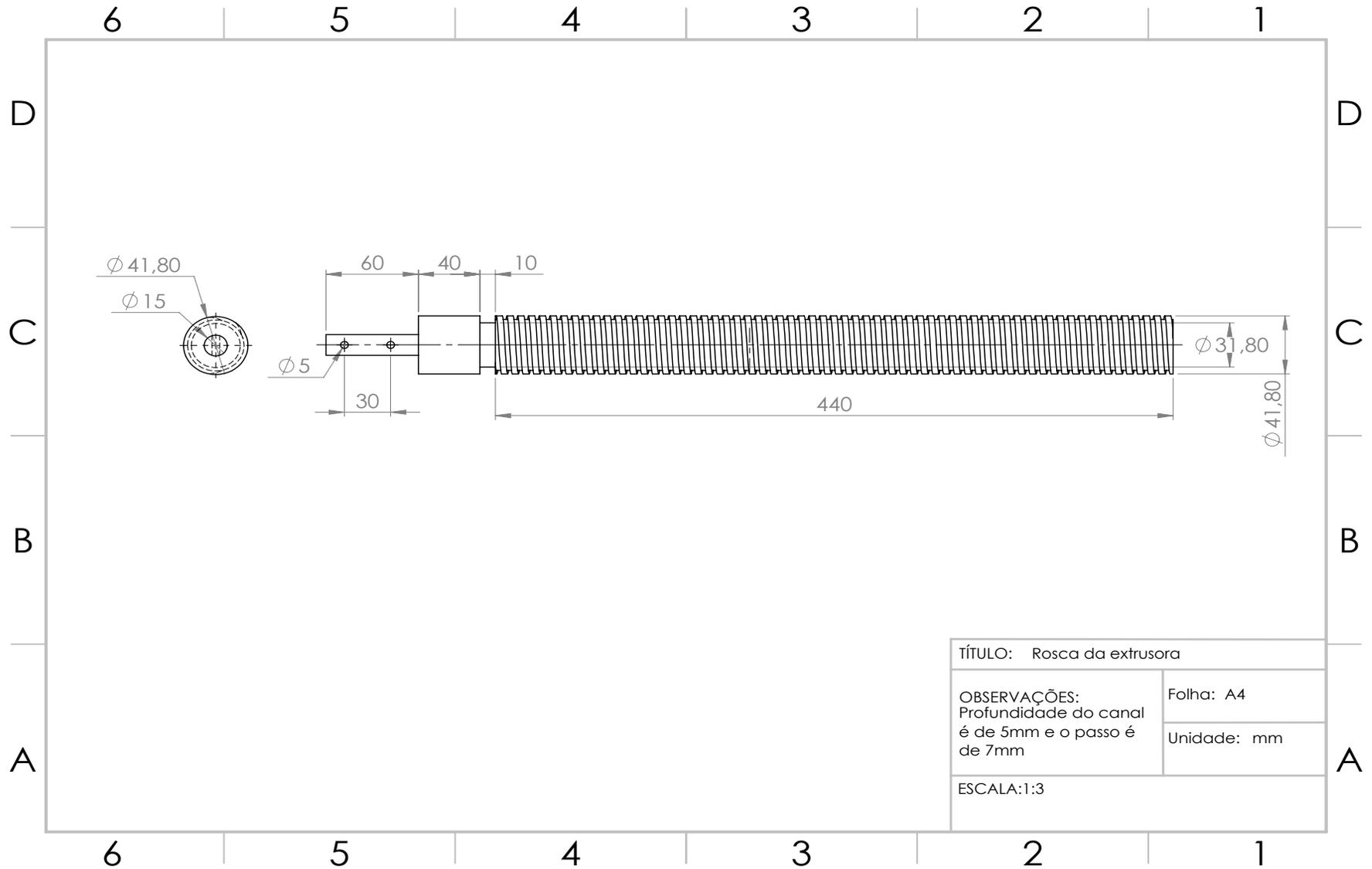
O dimensionamento do parafuso foi feito de acordo com os parâmetros de equipamentos e da disponibilidade de materiais do laboratório de fabricação mecânica da UTFPR-PG. As imagens 9 e 10 abaixo mostram o desenho do parafuso e as dimensões em que foi fabricado.

**Figura 9- Vista em 3D do parafuso**



Fonte: Autoria própria

Figura 10- Desenho técnico do parafuso



Fonte: Autoria própria

Os materiais que foram utilizados para a fabricação desse componente são:

- Barra de aço AISI 1045, Ø50,8x500mm;
- Barra de aço AISI 1045, Ø50,8x100mm para realização de testes de parâmetros de usinagem.

As ferramentas utilizadas para a fabricação desse componente são:

- Pastilhas de metal duro marca Sandvik;
- Bedame marca Sandvik;
- Bits de aço rápido;
- Lixas de diferentes granulometrias.

Os equipamentos utilizados para a fabricação do parafuso são os seguintes:

- Torno Nardini modelo mascote;
- Esmeril HW SCHMITZ FPN-3;
- Retifica manual marca Skill.
- Fresadora.

**Construção do parafuso-** Para a fabricação do parafuso da extrusora foi utilizado uma barra de duas polegadas e 500mm de comprimento de aço AISI 1045, onde foi usinado utilizando um torno Nardini modelo Mascote. Como ferramentas para a realização da usinagem foram utilizadas pastilhas de metal duro e bedame, ambos da marca Sandvik.

Antes dessa operação, foi fabricado um protótipo a fim de descobrir a melhor forma de fabricar o parafuso, as melhores ferramentas, as velocidades de usinagem. A fotografia 1 mostra a barra que foi utilizada para fabricação do parafuso e o protótipo que foi feito antes da usinagem do parafuso.

**Fotografia 1- Barra de aço utilizada para a fabricação do parafuso e o protótipo fabricado antes da usinagem do parafuso.**



**Fonte: Autoria Própria.**

Após feito os testes no protótipo, a ferramenta que trouxe melhores resultados para esse processo foi o bedame, dessa forma ele foi a ferramenta escolhida para a fabricação do parafuso, pois ele apresentou menos desgaste da ferramenta, melhor acabamento e a possibilidade de realização de canais mais profundos. A fotografia 2 mostra o início da usinagem do fuso.

**Fotografia 2- Barra de aço utilizada para fabricação do parafuso presa ao torno**



**Fonte: Autoria própria**

**Acabamento do parafuso-** Primeiramente, o acabamento do parafuso foi realizado utilizando limas de formato redondo, meia cana e chata e também lixas de diferentes granulometrias (#50, #100, #120, #200, #300, #600, #1200). Essas ferramentas foram passadas no fuso em rotação baixa, próximo de 50RPM. A fotografia 3 mostra como foi realizado o acabamento do parafuso.

**Fotografia 3- Acabamento do fuso sendo realizado com limas**



**Fonte: Autoria própria**

Após essa primeira etapa, o acabamento foi realizado por uma retífica manual para dar melhor qualidade no resultado final do acabamento. As ferramentas utilizadas na retífica foram discos de lixas de pano e disco de acrílico revestido de lixas. A fotografia 4 mostra como foi realizado esse acabamento.

**Fotografia 4- Acabamento do fuso realizado com a retifica manual**



**Fonte: Autoria própria**

Após finalizado o acabamento, foi feito um furo passante no eixo do fuso para que pudesse ser colocado dentro da luva que irá fazer o acoplamento entre o parafuso e o motor elétrico. Para isso foi utilizado a fresadora, juntamente com uma broca de centro e em seguida brocas de  $\varnothing 3\text{mm}$ ,  $\varnothing 4,5\text{mm}$  e  $\varnothing 5\text{mm}$  que era o diâmetro desejado. A fotografia 5 mostra como foi feito esse procedimento.

**Fotografia 5- Eixo do parafuso sendo furado**



**Fonte: Autoria própria**

### 3.3.2 Cilindro

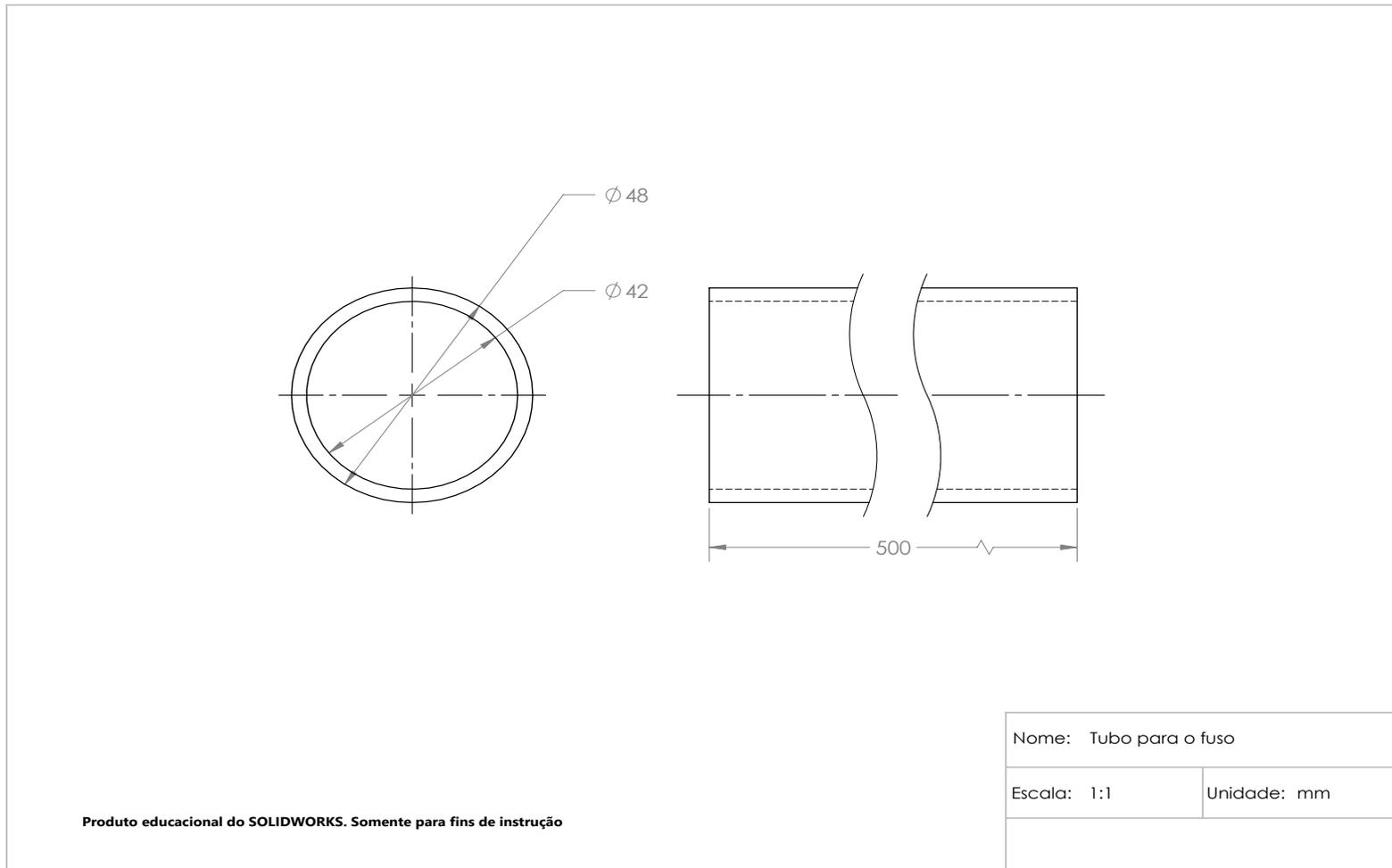
Conforme mencionado anteriormente o cilindro foi escolhido por sua disponibilidade e qualidade superficial. A figura 11 mostra o desenho do tubo e a figura 12 mostra suas dimensões.

**Figura 11- Vista em 3D do tubo**



**Fonte: Autoria própria**

Figura 12- Desenho técnico do tubo



Fonte: Autoria própria

Os materiais que foram utilizados para a fabricação desse componente são:

- Tubo de aço AISI 1045,  $\varnothing 50,8 \times 500$ mm;
- Cano de PVC  $\varnothing 50 \times 300$ mm.

As ferramentas utilizadas para a fabricação desse componente são:

- Lixas de diferentes granulometrias (#120, #200, #300, #400, #500, #600, #1200).
- Esmilhadeira Bosch modelo GWS-7.

Os equipamentos utilizados para a fabricação do parafuso são os seguintes:

- Torno Nardini modelo mascote;
- Luneta fixa modelo mascote.

**Acabamento do cilindro-** O acabamento interno do tubo é de fundamental importância na elaboração do protótipo, pois é onde o material transportado terá contato direto com a superfície, dessa maneira devemos obter ao final desse procedimento uma superfície com baixíssima rugosidade. A fotografia 6 a seguir mostra a superfície interna do tubo antes do acabamento.

**Fotografia 6- Superfície interna do cilindro antes do acabamento**



**Fonte: Autoria própria**

Inicialmente o cilindro foi colocado no torno, apoiando uma de suas extremidades em uma luneta fixa para dar melhor estabilidade, por se tratar de um cilindro com comprimento grande. Essa fixação é apresentada na fotografia 7.

**Fotografia 7- Cilindro preso ao torno com o auxílio da luneta fixa**



**Fonte: Autoria própria**

Como ferramenta, foi utilizado um tubo de PVC com diâmetro muito próximo ao do cilindro e nesse tubo foi colado lixa d'água e de pano de diferentes granulometrias

(#80, #120, #220, #320, #600, #1200) para que pudesse ser colocado no interior do cilindro para fazer o acabamento através de toda a superfície interna. A velocidade do torno selecionada para esse procedimento foi de 125 rpm. A fotografia 8 mostra a ferramenta fabricada com o tubo de PVC onde a ferramenta foi utilizada de maneira manual. A fotografia 9 mostra a ferramenta sendo utilizada.

**Fotografia 8- Ferramenta fabricada para o acabamento interno do cilindro**



Fonte: Autoria própria

**Fotografia 9- Ferramenta de acabamento interno sendo utilizada**



Fonte: Autoria própria

Após a fase de acabamento interno o cilindro foi cortado, nas medidas da parte inferior do funil, utilizando a esmerilhadeira. Sendo esse corte parte do projeto pois é onde ocorrerá a entrada do material. O corte do tubo pode ser visto na fotografia 10.

**Fotografia 10- Corte do cilindro para a entrada de material**

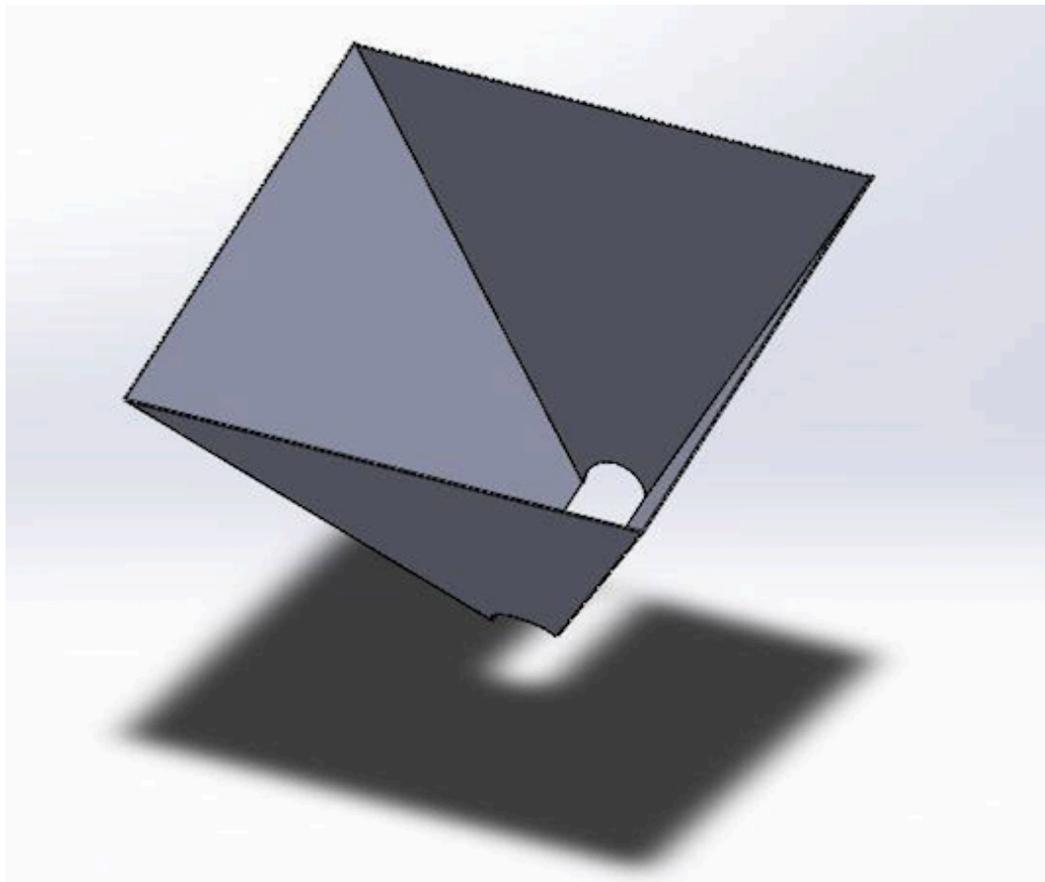


**Fonte: Autoria própria**

### 3.3.3 Funil de Alimentação

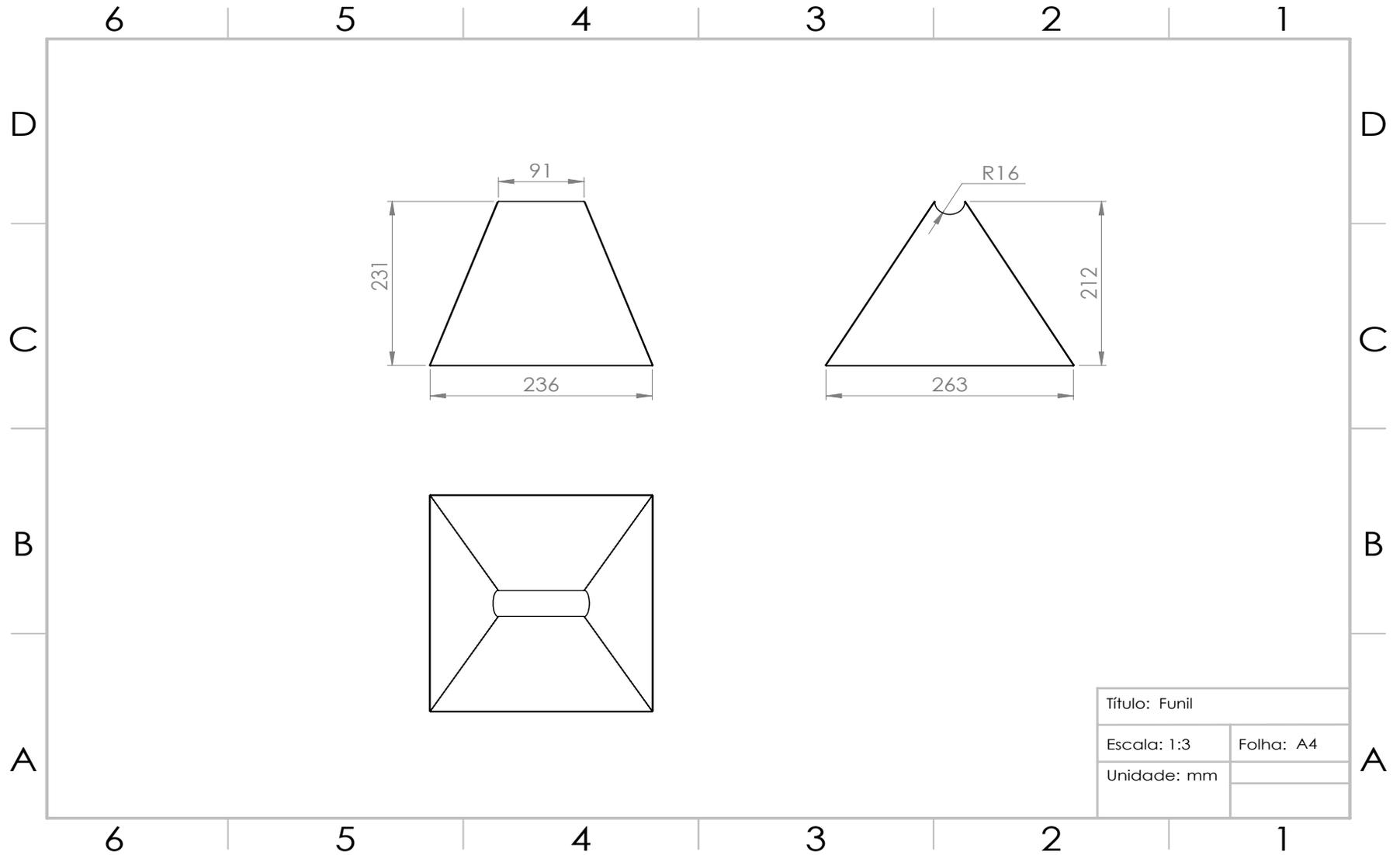
O projeto do funil foi realizado de acordo com modelos de funis existentes e seu dimensionamento foi realizado seguindo o projeto de HAKKENS( 2016) e adaptado para o nosso projeto. O projeto do funil, com dimensões e desenhos, pode ser visto nas imagens 13 e 14.

**Figura 13- Vista em 3D do funil de alimentação**



**Fonte: Autoria própria**

Figura 14- Desenho técnico do funil de alimentação



Fonte: Autoria própria

O material em que será fabricado o funil são:

- chapas de aço AISI 1045 2mx1mx1mm;
- Rebites  $\varnothing$ 4mm;

Como ferramentas serão necessários:

- Marcador de metal;
- Esquadro 90° e 45°;
- Compasso marcador de metal;
- Tesoura de cortar chapa;
- Alicates rebitor Brasfort-9pol.

Os equipamentos a serem utilizados são

- Guilhotina CLARK modelo ACL TG 256 ;
- Esmeril HW SCHMITZ FPN-3.

**Fabricação do funil-** Para a fabricação do funil foi marcado na chapa de aço o formato do funil utilizando o marcador de metal e em seguida essas chapas foram cortadas utilizando a guilhotina. Foi utilizado o compasso de marcar metais e para obter o corte circular foi utilizado o esmeril.

Com as partes do funil devidamente cortadas, as abas do funil foi dobrada em um ângulo de 45° para em seguida ser furada por uma broca de 4mm para ser rebitada e obter a peça final. A construção do funil é mostrada na fotografia 11. Na fotografia 12 verifica-se a compatibilidade do ângulo circular do funil com a geometria do tubo.

**Fotografia 11- Funil de alimentação montado**



**Fonte: Autoria própria**

**Fotografia 12- Funil de alimentação posicionado em cima do tubo**



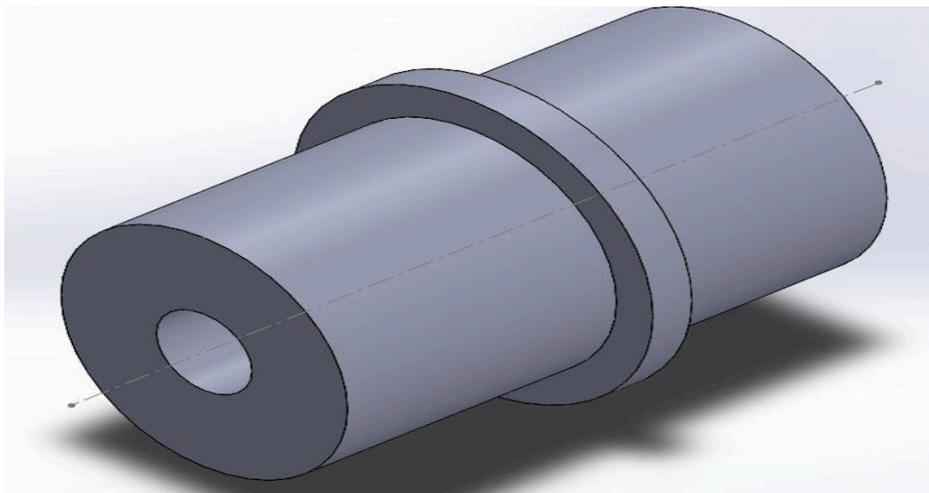
**Fonte: Autoria própria**

A etapa seguinte na montagem do protótipo foi a união do tubo e do funil de alimentação e esse procedimento foi realizado por soldagem MIG.

### 3.3.4 Cabeça da Extrusora

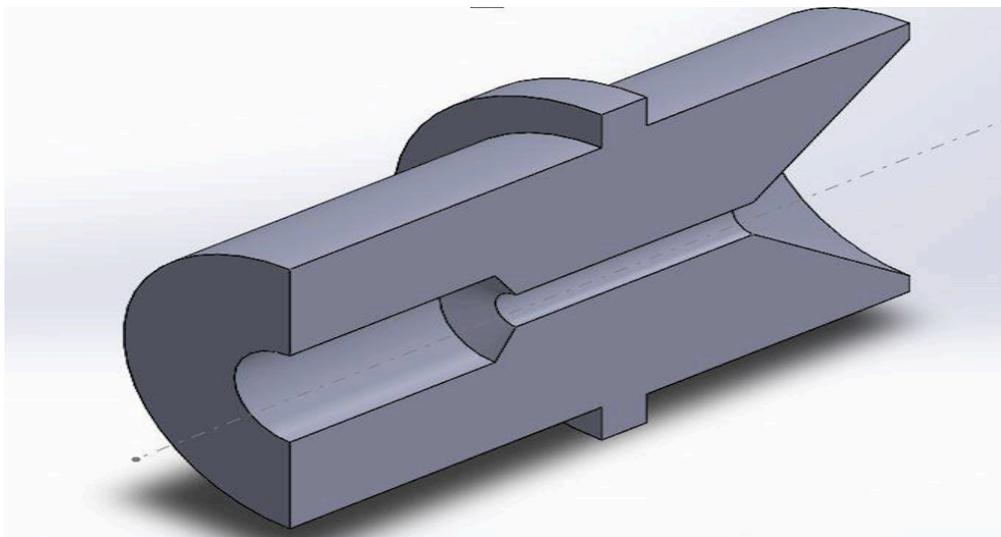
O dimensionamento da cabeça da extrusora foi realizado de forma experimental, fazendo alguns protótipos de ângulos de entrada de material para ver qual melhor se adaptava a finalidade proposta para o equipamento e também por meio de pesquisas de modelos mais utilizados em extrusoras. Pode-se ver nas figuras 15, 16 e 17 o desenho que foi utilizado para a fabricação.

**Figura 15- Desenho em 3D da cabeça da extrusora**



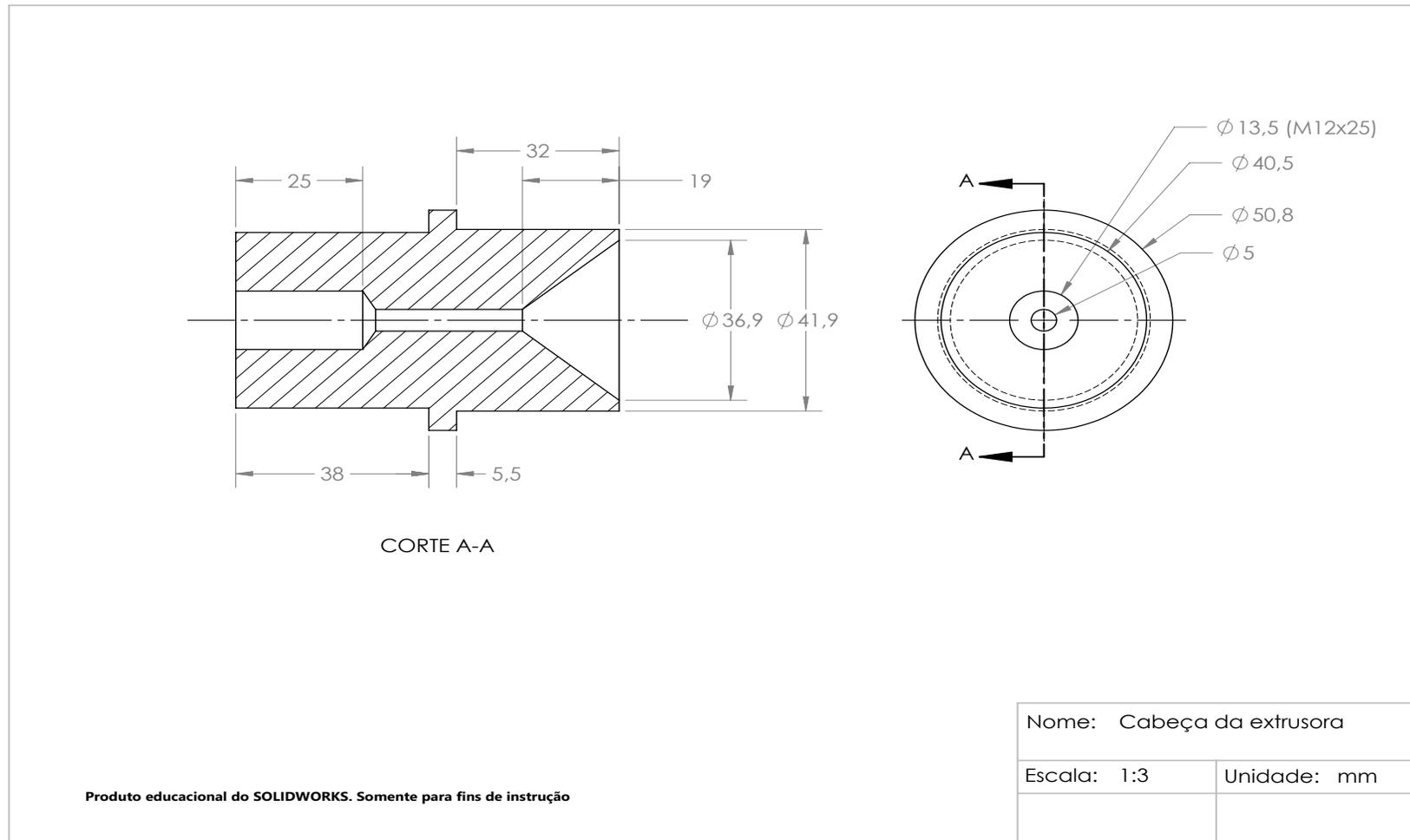
Fonte: Autoria própria

**Figura 16- Seção de corte da cabeça da extrusora**



Fonte: Autoria própria

Figura 17- Desenho técnico da cabeça da extrusora



Fonte: Autoria própria

O material que foi selecionado para a fabricação desse componente é um tarugo de aço AISI 1045.

As ferramentas selecionadas para a fabricação são:

- Pastilhas de metal duro Sandivik;
- Brocas de diferentes diâmetros;
- Machos para furo M12;
- Ferramenta para abertura de cones.

Os equipamentos utilizados para a fabricação dessa peça serão:

- Torno Nardini modelo mascote;
- Furadeira de bancada;
- Vira macho.

**Fabricação da cabeça da extrusora** - foi realizada a partir da usinagem de um tarugo de diâmetro duas polegadas (50,80mm) e 100mm de altura de aço AISI 1045, onde o mesmo foi usinado no torno utilizando como ferramenta uma pastilha de metal duro à uma velocidade de 1000rpm.

A primeira etapa da fabricação dessa peça foi desbaste simples para obter as dimensões pré-estabelecidas.

O furo da parte interna foi realizado com uma broca de centro e o furo da parte de entrada do material foi obtido a partir da utilização de brocas de diferentes tamanhos, partindo-se da menor broca para a maior, visando facilitar a abertura dessa entrada, visto que a utilização de uma broca de um tamanho muito grande no primeiro furo poderia comprometer a ferramenta e conseqüentemente a peça. As brocas utilizadas são mostradas na fotografia 13.

As brocas estão dispostas do menor tamanho utilizado ao maior, e os tamanhos utilizados foram:  $\varnothing 3\text{mm}$ ,  $\varnothing 5\text{mm}$ ,  $\varnothing 6\text{mm}$ ,  $\varnothing 7\text{mm}$ ,  $\varnothing 8\text{mm}$ ,  $\varnothing 8,5\text{mm}$ ,

Ø9mm, Ø10,5mm, Ø12mm, Ø13mm, Ø15mm. A profundidade dos furos realizados foi de 20mm.

**Fotografia 13- Conjunto de brocas utilizado para furar o centro da cabeça da extrusora**



**Fonte: Autoria própria**

A entrada do material deve ter geometria cônica, com isso foi usinado, a partir do furo obtido, um cone interno, conforme é mostrado na fotografia 14.

**Fotografia 14- Peça presa ao torno e a ferramenta utilizada para a abertura do cone**



**Fonte: Autoria própria**

A ferramenta foi posicionada com uma angulação de 40° e a profundidade do cone foi a mesma profundidade obtida através das brocas. Os parâmetros de usinagem

foram de 1000rpm de velocidade e avanços de 0,3mm/rev para melhor acabamento da superfície da peça e o resultado dessa operação é mostrado na fotografia 15.

**Fotografia 15- Resultado da usinagem do cone na peça**



**Fonte: Autoria própria**

Realizado a seção de entrada de material, o próximo passo foi a obtenção da seção de saída do material. Para isso foi realizado a furação da peça de modo a deixá-la com 10,5mm de diâmetro, repetindo o procedimento anterior de furação, sempre da menor broca para a maior (5mm,6mm,7mm,8mm,9mm,10mm,10,5mm) e profundidade de 22mm para a realização da rosca M12, onde o diâmetro mínimo necessário para a realização da operação de rosca era de 10,3mm. A fotografia 16 apresenta as ferramentas utilizadas para a obtenção da rosca M12 que são 3 machos de diâmetros diferentes (1ºmacho,2ºmacho e 3ºmacho) e a ferramenta vira macho utilizada para prender a ferramenta e realizar a rosca.

**Fotografia 16- Vira macho e os machos utilizados para realizar a rosca na peça**



**Fonte: Autoria própria**

Para o procedimento de realização da rosca, a peça foi presa em uma morsa com o auxílio de duas placas de alumínio para não danificar a peça, em seguida foi passado os machos na sequência do primeiro ao terceiro, a fotografia 17 mostra um desses processos.

**Fotografia 17- Processo de realização da rosca na peça**



**Fonte: Autoria própria**

Realizado a rosca, o procedimento seguinte foi de fabricação do parafuso que irá acoplado na referida rosca. Para isso foi utilizado um parafuso M12 de comprimento de 25mm e o qual foi furado em seu centro, utilizando uma furadeira de bancada, com uma broca de diâmetro de 3mm. Nesse canal cilíndrico será formado o filamento de polímero. A fotografia 18 mostra o resultado desse procedimento.

**Fotografia 18- Parafuso M12 preso a furadeira de bancada após a furação**



**Fonte: Autoria própria**

Na parte inferior do parafuso foi realizado um furo no formato de um cone, utilizando uma broca de centro, para facilitar a entrada de material como mostrado na fotografia 19.

**Fotografia 19- Resultado da abertura do cone no parafuso**



**Fonte: Autoria própria**

### 3.3.5 Acoplamento Motor-eixo

Os materiais que foram utilizados para a fabricação desse componente são:

- Tubo de aço AISI 1045,  $\varnothing 50,8 \times 50$ mm;

As ferramentas utilizadas para a fabricação desse componente são:

- Broca de centro;
- Broca  $\varnothing 5$ mm.

Os equipamentos utilizados para a fabricação do parafuso são os seguintes:

- Torno Nardini modelo mascote;

Para o acoplamento entre o motor elétrico e o parafuso de extrusão foi fabricado uma "luva" com o diâmetro interno muito próximo ao do eixo do parafuso e o eixo do motor. Essa "luva" foi furada para que pudesse passar pinos de diâmetro de 5mm para poder fixar os componentes.

### 3.3.6 Componentes Eletrônicos

Os componentes eletrônicos utilizados para o aquecimento e controle do material polimérico foram baseados em modelos de extrusoras já existentes. Nesse projeto utilizou-se uma adaptação a partir do modelo de HAKKENS (2016). Os componentes que foram utilizados são mostrados nas tabelas abaixo.

**Tabela 2-Componentes eletrônicos utilizados no projeto**

<b>Componentes</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Detalhes</b>
Controlador PID	1	0 - 400 graus
SSR relé	1	2 - 24V
Termopar	1	precisão de +/-0,05 °C até 400°C
Aquecedor de banda	3	50mm x 50mm
Cabo de alimentação	1	2m
Fios para conexão elétrica	1	1m

**Fonte: Autoria própria**

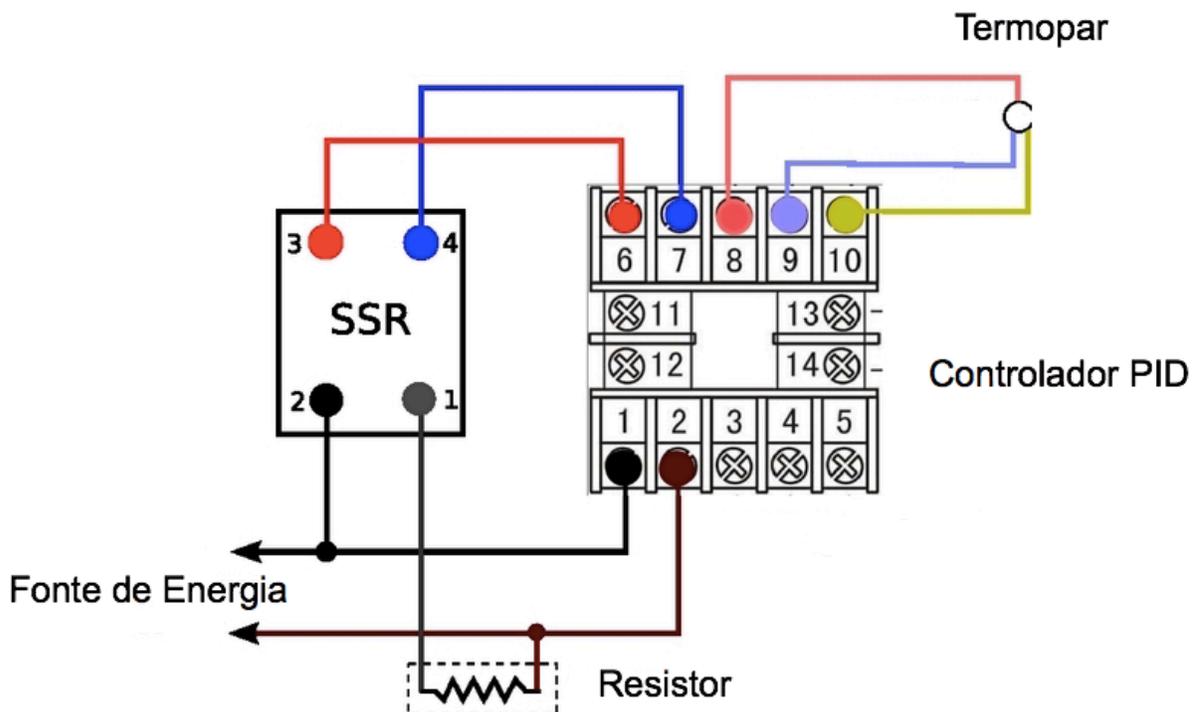
Tabela 3-Modelos dos componentes eletrônicos utilizados no projeto.

Componentes	Modelos
Controlador PID	RKC/REX-C100
SSR relé	FOTEK/40 DA
Termopar	Modelo K-MAX6675
Aquecedor de banda	Coleira de mica

Fonte: Autoria própria.

A montagem do circuito foi realizada seguindo o diagrama da figura 18.

Figura 18- Diagrama elétrico da montagem dos componentes eletrônicos



Fonte: BROUILLARD (2017)

### 3.4 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Esse capítulo é dedicado a montagem do protótipo e ele irá abordar cada etapa da montagem e os principais desafios e ajustes que tiveram que ser realizados para se obter o resultado final esperado.

Materiais para montagem:

Os materiais que foram utilizados para a montagem do protótipo:

- Parafusos M6x40mm sextavado;
- Parafusos  $\varnothing 2 \times 5$ mm;
- Chapa de MDF 120x60x15 mm;
- Rolamento de esferas SKF  $\varnothing 42 \times 20 \times 12$  mm;
- Cantoneiras 1/16" e cantoneiras 3/16";
- Pinos de fixação  $\varnothing 6$ mmx 10mm de comprimento;
- Abraçadeiras tipo U modelo MGO.

As ferramentas utilizadas para a montagem são:

- Martelo se borracha;
- Broca de centro;
- Broca  $\varnothing 6$ mm;

Os equipamentos utilizados para a fabricação do parafuso são os seguintes:

- Torno Nardini modelo mascote;
- Furadeira de bancada.
- Nivelador Stanley modelo bolha;

#### 3.4.1 Montagem da Bancada

Para a realização da montagem, primeiramente foi escolhido onde seria montado o protótipo e para isso foi escolhido uma chapa de MDF onde foi fixado o motor elétrico para o torque do equipamento não prejudicar o seu funcionamento. A

fixação desse motor foi realizada com cantoneiras de 3/16" de espessura, fixadas com parafusos de  $\varnothing 2\text{mm}$ , em volta da parte inferior do motor para restringir seu movimento em cima da bancada, mostrado na fotografia 25. Utilizando cantoneiras de tamanho 1/16" o motor foi fixado, com parafusos passante M6x40mm, na bancada, conforme mostra a fotografia 26.

### 3.4.2 Montagem das Peças do Protótipo.

A montagem da cabeça da extrusora no tubo foi realizada por encaixe com interferência. A peça foi forçada no interior do tubo com o auxílio de um martelo de borracha. A figura 20 mostra um esboço de montagem.

Um rolamento de diâmetro externo de aproximadamente 42mm foi colocado no eixo do fuso afim de deixa-lo fixo no cilindro para deixar o parafuso centralizado no interior do cilindro.

Para o nivelamento do tubo em relação ao motor foi utilizado um nível comum e para a fixação do tubo na bancada foi utilizado braçadeiras de aço e foi fabricado um suporte semelhante ao utilizado para a fixação do motor, feito com cantoneiras de 4mm de espessura de aço. O resultado desse nivelamento na bancada e em relação ao motor é mostrado na fotografia 20.

Para a fixação do tubo na bancada foi utilizado as abraçadeiras modelo U, as quais foram fixadas nas cantoneiras com os parafusos M6, essa montagem pode também ser vista na fotografia 20.

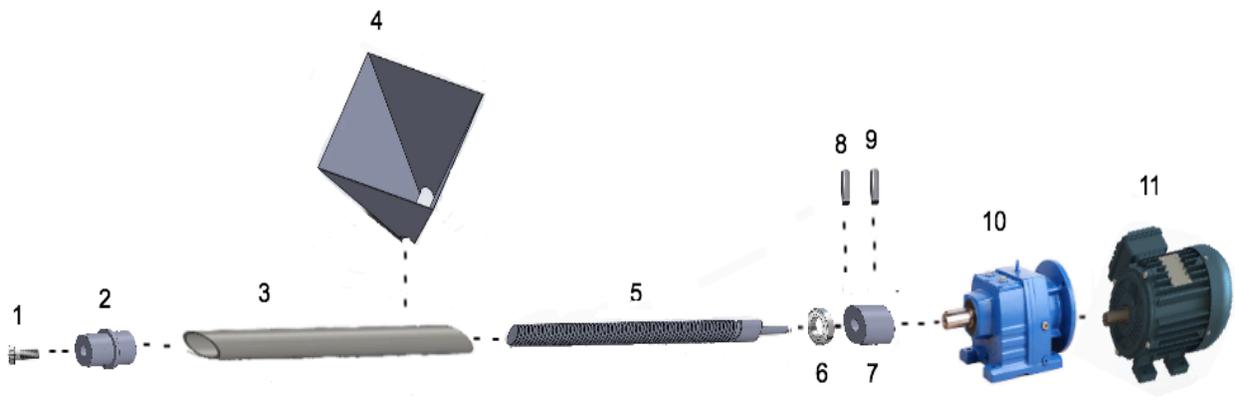
A figura 19 mostra a montagem dos componentes de uma forma simplificada.

Fotografia 20- Nivelamento do tubo em relação ao motor



Fonte: Autoria própria

Figura 19- Esboço da montagem dos componentes



Fonte: Autoria própria

1-Parafuso da cabeça da extrusora;

2- Cabeça da extrusora;

3- Tubo;

4- Funil de alimentação;

5- Parafuso de extrusão;

6- Rolamento;

7- Luva de acoplamento;

8- Pino de fixação;

9- Pino de fixação;

10- Caixa redutora;

11- Motor elétrico.

## 4 RESULTADOS

Esse capítulo aborda toda a parte dos resultados da fabricação de cada um dos componentes do protótipo e também os resultados das montagens do protótipo. O capítulo aborda também os resultados dos testes realizados após o protótipo ter sido montado.

### 4.1 RESULTADO DA FABRICAÇÃO E ACABAMENTO DO PARAFUSO

O resultado da fabricação do parafuso de extrusão é mostrado na fotografia a seguir.

**Fotografia 21- Resultado final da usinagem do parafuso**



**Fonte: Autoria própria.**

A fotografia 22 mostra o resultado final do acabamento do fuso. O resultado do acabamento do fuso ficou satisfatório apesar de sua rugosidade não ter sido medida.

**Fotografia 22- Resultado final do acabamento do parafuso**



**Fonte: Autoria própria**

#### 4.2 RESULTADO DO ACABAMENTO DO CILINDRO

O resultado é visto na fotografia 23. O resultado do acabamento foi satisfatório apesar de sua rugosidade não ter sido medida nesse trabalho.

**Fotografia 23- Resultado final do acabamento interno do cilindro**

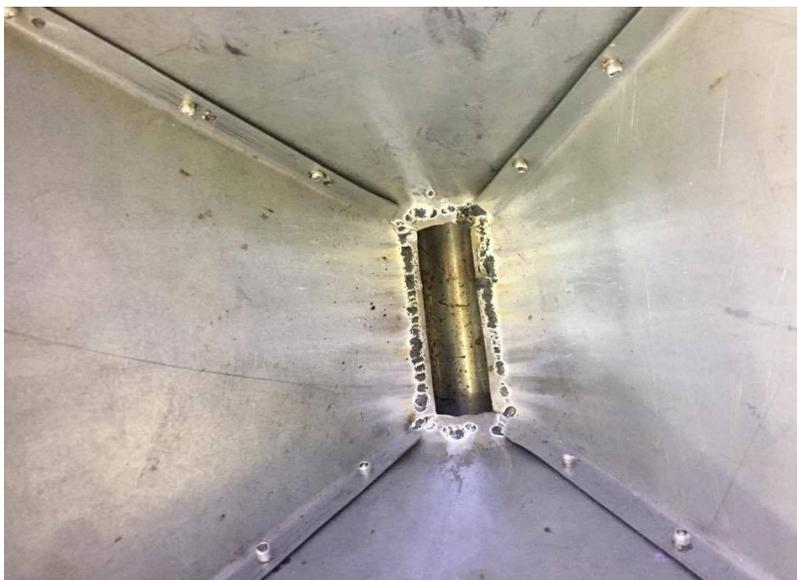


**Fonte: Autoria própria**

### 4.3 RESULTADO DA FABRICAÇÃO DO FUNIL DE ALIMENTAÇÃO

O resultado final do funil de alimentação pode ser visto nas fotografias 24 e 25.

**Fotografia 24- Soldagem do funil de alimentação no cilindro**



Fonte: Autoria própria

**Fotografia 25- Funil e cilindro unidos**



Fonte: Autoria própria

#### 4.4 RESEULTADO DA FABRICAÇÃO DA CABEÇA DA EXTRUSORA

O resultado final da fabricação da cabeça da extrusora é mostrado nas fotografias 26 e 27.

**Fotografia 26- Resultado da fabricação da cabeça da extrusora**



**Fonte: Autoria própria**

**Fotografia 27- Resultado da fabricação da cabeça da extrusora**



**Fonte: Autoria própria**

## 4.5 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Resultado da montagem do motor na bancada

**Fotografia 28- Resultado da fixação da base do motor**



Fonte: Autoria própria

**Fotografia 29- Resultado da fixação do motor na bancada**



Fonte: Autoria própria

#### 4.5.1 Resultado da Montagem da Cabeça da Extrusora no Tubo

O resultado dessa montagem pode ser visto na fotografia 30.

**Fotografia 30- Resultado da montagem da cabeça da extrusora**



**Fonte: Autoria própria**

A fotografia 31 mostra a “luva” acoplada no eixo do parafuso e o rolamento que foi utilizado para centralizar o parafuso no cilindro.

**Fotografia 31- Luva de acoplamento motor/eixo do parafuso**



**Fonte: Autoria própria**

A fotografia 32 mostra a luva de acoplamento montada no motor elétrico.

**Fotografia 32- Luva de acoplamento montada**



**Fonte: Autoria própria**

A montagem final do protótipo é mostrada na fotografia 33 e ela apresenta os resistores já posicionadas e o circuito elétrico montado, o tubo fixado na bancada e o fuso acoplado ao motor.

**Fotografia 33- Protótipo final**



**Fonte: Autoria própria**

#### 4.6 TESTES DO PROTÓTIPO

Com a finalidade de verificar o funcionamento do protótipo foram realizados alguns testes simples, os testes foram realizados com polímeros de PET devido ao seu pouco estudo foi observado que seria uma grande oportunidade de pesquisa utilizar este material e durante esses testes foram variados alguns parâmetros como velocidade e temperatura dos resistores, sempre adicionando o polímero com a máquina já em funcionamento e próxima a sua temperatura de trabalho (tg do polímero).

Durante os testes foi observado que o tamanho dos granulados do polímero deveria ter o tamanho próximo ao dos canais do fuso para facilitar seu transporte e por isso foi utilizado granulados de PET de tamanho pequeno (cerca de 2mm). Diante de alguns testes foi observado que ocorreram alguns “travamentos” da máquina, talvez diante do grande torque que o polímero dentro do fuso exercia e com isso a máquina não apresentou um fluxo contínuo de material e o que acabou dificultando sua fusão no interior do tubo.

Outro problema encontrado nos testes foi a temperatura de vítreo (tg) do material, em vista que o material acabava degradando no interior do tubo ao invés de fundir, o que impossibilitava sua extrusão, juntamente com o travamento dos componentes já mencionado anteriormente. A fotografia 34 mostra o resultado do material extrudado, um material de baixa qualidade, apresentando muita porosidade e que foi extrudado de forma não contínua, ou seja, em gotas o que impossibilitou qualquer formação de filamentos.

**Fotografia 34- Resultado do material extrudado**



**Fonte: Autoria própria**

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do trabalho foi realizado de maneira experimental a fim de se obter um protótipo. Em relação a esse resultado pode-se dizer que foi satisfatório pois o protótipo foi obtido dentro dos parâmetros que haviam sido pré-estabelecidos, com baixo custo e utilizando os equipamentos e recursos da universidade.

Porém em relação ao funcionamento desse protótipo não se pode afirmar que não foi satisfatório pois não foi realizado muitos testes com diferentes materiais, temperaturas e velocidades. Diante disso se faz necessário um número maior de testes, testes com outros materiais e outras melhorias no protótipo como mudança do motor elétrico para um de maior potência.

Como desafios do trabalho é importante mencionar a falta de recursos do laboratório que foi utilizado, pois em muitos momentos foi necessário trazer os materiais e ferramentas pessoais ou até mesmo adquirir os mesmos. Outro ponto que vale destacar dentro das dificuldades encontradas é o planejamento em relação ao tempo que foi utilizado para a fabricação/acabamento de cada componente, acredita-se que com um planejamento maior, peças como o parafuso, poderia ser fabricado em menor tempo. Para se ter um parâmetro, o tempo necessário para a execução do projeto foi de aproximadamente de 4 a 5 meses, onde pelo menos metade desse período foi utilizado na fabricação/acabamento do parafuso.

Um aspecto que vale ressaltar como fundamental na execução do projeto foi o trabalho em equipe que houve entre os integrantes (Diego Oliveira, Evandro Soski e Felipe Camargo) o comprometimento da equipe, a dedicação de cada um foi ponto chave para que o projeto fosse concluído.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõem-se:

- Realizar testes com materiais diferentes, definindo uma temperatura e velocidade de trabalho adequados para obter-se filamentos.

- Fabricar outro tipo de parafuso com outra geometria de eixo, com as seções de alimentação, compressão e medição variáveis.

## 6 REFERENCIAS

1. ABIPET. **Associação Brasileira da Indústria de PET**. Site corporativo. Disponível em: <[www.bipet.org.br](http://www.bipet.org.br)>. Acesso em: 24 out. 2005 a.
2. ALVES, Fábio. **Moldagem por Sopro**. 2013. Disponível em: <<http://www.industriahoje.com.br/moldagem-sopro>>. Acesso em: 26 jun. 2017.
3. AMARAL, **Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.
4. BENTES, Vera Lucia Imbiriba. **Hidrólise básica de resíduos poliméricos de pet pós-consumo e degradação catalítica dos monômeros de partida**. 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.
5. BIMESTRE, B. H. **Alternativas para o reaproveitamento de rejeitos industriais de poli(tereftalato de etileno) reciclado** 2010. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2010.
6. BRITTO, Hamilton. Mecânica de fabricação: **Conceitos, elementos e processos: Extrusão Plástica**. 2015. Disponível em: <<http://mecanicadefabricar.blogspot.com.br/2015/10/extrusao-plastica.html>>. Acesso em: 14 abr. 2017
7. BROUILLARD, Ella. Honda C100 **Wiring Diagram**. 2017. Disponível em: <<http://imunn.org/wiring/honda-c100-wiring-diagram.html>>. Acesso em: 15 maio 2017.
8. CAETANO, Daniel. **Projeto Conceitual, Básico e Detalhado**. 2010. Disponível em: <<http://engdanielcaetano.blogspot.com.br/2010/07/projeto-conceitual-basico-e-detalhado.html>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

9. CAETANO, Mario. **Cabecas Direitas ou Rectas**. 2014. Disponível em: <[http://ctborracha.com/?page\\_id=6448](http://ctborracha.com/?page_id=6448)>. Acesso em: 17 abr. 2017.
10. CALLISTER, Jr., W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 7a,Ed. Rio de Janeiro, LTC, 2008.
11. CAMPBELL, G. A., DONTULA, N., **Solids Transport in Extruders, International Polymer Processing**, v. 10, p. 30-35, 1995.
12. EHRIG, R. J.; CURRY, M. J. **Plastics recycling: products and processes**. Oxford University Press: New York, 1992.
13. EQUIPE MAPS. **Miscibilidade da blenda**. 2016. Disponível em: <<http://mapseng.blogspot.com.br/2016/>>. Acesso em: 26 jul. 2017.
14. FILIPAK, Cristina et al. **Guia para Elaboração do Projeto Preliminar: Metodologia CELEPAR**. Paraná: Celepar, 2009.
15. GRIMBERG, E.; BLAUTH, P. **Coleta Seletiva: reciclando materiais, Reciclando valores. Polis: estudos, formação e assessoria em políticas sociais**, n.31, 1998.
16. HAKKENS, Dave. **Extrusion**. 2016. Disponível em: <<https://preciousplastic.com/en/machines/>>. Acesso em: 17 abr. 2017.
17. IAROZINSKI NETO, Alfredo; FAVARETTO, Fábio. **Projeto conceitual: O projeto da “Forma” do produto**. Curitiba: Puc/pr, 2005.
18. KANTOVISCKI, Adriano. **Materiais Poliméricos: Processos de transformação de polímeros**. 2011. Disponível em: <<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/automotiva/downloadsAutomot/d6matPolimMod2.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2016.
19. MANCINI, S. D. et al. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.14, p.69-73, 2004.

20. MANO, E. B.; BONELLI, C. M. C. **A Reciclagem de plásticos pós-consumidos**. Rev. Química. Industrial., Rio de Janeiro, n. 698, p. 18-22, 1994.
21. MANO, E.B; MENDES, L.C. **Introdução a Polímeros**. p.208, 2004.
22. MARQUES, André Canal. **Análise de similares: contribuição ao desenvolvimento de uma metodologia de seleção de materiais e ecodesign**. 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
23. PIVA, Ana Magda; WIEBECK, Hélio. **Reciclagem do plástico: como fazer da reciclagem um negócio lucrativo**. São Paulo, Artiliber Editora, 2004.
24. RABECHINI JUNIOR, Roque; CARVALHO, Marly Monteiro de; LAURINDO, Fernando José Barbin. **Fatores críticos para implementação de gerenciamento por projetos: o caso de uma organização de pesquisa**. Produção, São Paulo, v. 12, n. 2, p.28-41, 2002.
25. RAUWENDAAL, C., **Polymer Extrusion**, 3a ed., p. 1-566, Carl Hanser Verlag, Munique, 1986.
26. RODA, Daniel Tietz. **Termoformagem**. 2014. Disponível em: <<http://www.tudosobreplasticos.com/processo/termoformagem.asp>>. Acesso em: 13 abr. 2017.
27. ROZENFELD, H; Forcellini, F. Amaral, D.C; Toledo, J; Alliprandini, D. Silva, S. L. e Scalice, R. **Desenvolvimento de Produto: Uma referência para Melhoria do Processo**. Editora Saraiva,2006.
28. SHIBAO, Fábio Ytoshi; MOORI, Roberto Giro; SANTOS, Mario Roberto dos. **A LOGISTICA REVERSA E A SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL: Sustentabilidade Ambiental nas Organizações**.Semead, 2010.

29. SILVA, João Carlos Pereira da; COUTINHO, Ítalo de Azeredo. **A aplicabilidade da prototipagem no gerenciamento e definição dos requisitos do projeto**. Minas Gerais: Pmi, 2014.
30. SILVA, Leonardo Floriano da; BINI, Luiz Felipe. **Desenvolvimento de um protótipo para descaracterização da gravação de chapas de impressão**. 2015. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
31. SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; PAOLI, Marco Aurelio de. **A tecnologia da reciclagem de polímeros**. Química Nova, São Paulo, v. 28, n. 1, p.65-72, 12 nov. 2004.
32. TOBERGTE, D.R; CURTIS, S. **No title**. Journal of Checmical Information and Modeling, v.53, n.9, p.9, p.1689-1699, 2013.
33. VERDÉRIO JÚNIOR, Silvio Aparecido. **Polímeros propriedades físicas e processos de fabricação**. 2014. Disponível em:<<https://pt.slideshare.net/JuNNioRe/polmeros-aplicaes-propriedades-e-processos-de-fabricao>>. Acesso em: 13 abr. 2017.
34. VIGNOL,L.d.A. **Desenvolvimento de Modelos Simplificados para o Estudo da Extrusão de Polímeros**. 2005.